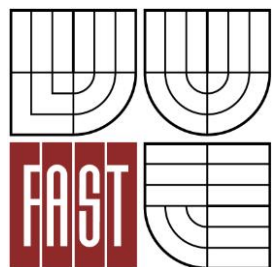




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

# KOGENERAČNÍ JEDNOTKY NA ČISTÍRNĚ ODPADNÍCH VOD

COGENERATION UNIT AT THE WASTEWATER TREATMENT PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

LENKA HOFERKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. PETR HLUŠTÍK, Ph.D.

BRNO 2016



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodního hospodářství obcí

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Lenka Hoferková
<b>Název</b>	Kogenerační jednotky na čistírně odpadních vod
<b>Vedoucí bakalářské práce</b>	Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
<b>Datum zadání bakalářské práce</b>	30. 11. 2015
<b>Datum odevzdání bakalářské práce</b>	27. 5. 2016
V Brně dne 30. 11. 2015	

.....  
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## Podklady a literatura

- [1] HLAVÍNEK, Petr. Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů. 1. vyd. Brno: Noel 2000, 1996, 196 s. ISBN 80-860-2000-2.
- [2] HLAVÍNEK, Petr, MIČÍN, Jan, PRAX, Petr. Příručka stokování a čištění, NOEL 2000, 2001, 251 s., ISBN 80-86020-30-4.
- [3] LIU, Sean X. Food and agricultural wastewater utilization and treatment. Second edition. ix, 260 pages. ISBN 9781118353974.
- [4] PYTL, Vladimír. Příručka provozovatele čistírny odpadních vod. 1. vyd. Líbeznice u Prahy: Medim pro SOVAK ČR, 2004, x, 209 s. ISBN 80-239-2528-8.
- [5] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. Chemie a technologie vody. 2., dopl. vyd. Brno: Ardec, 2006, xii, 331 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [6] Vybraná čísla časopisů SOVAK a Vodní hospodářství vztahující se k uvedené problematice.
- [7] Sborníky Water Science and Technology, IWA Publishing.

## Zásady pro vypracování

Bakalářská práce se bude v první části zabývat rešerší na téma kogenerace na čistírnách odpadních vod. Definiuje princip kogeneračních jednotek, základní pojmy a rozdělení technologického zařízení podle tepelného a elektrického výkonu, návrhové parametry jednotek a přehled výrobců na tuzemském trhu.

V druhé části práce student zpracuje studii využití kogenerační jednotky na vytipované čistírně odpadních vod, kterou ekonomicky zhodnotí.

## Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).
- 3.

.....  
Ing. Petr Hlušík, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Aktuálním tématem je hospodaření s energií a je nezbytné využívat obnovitelné zdroje. Patří k nim i bioplyn, který vzniká při anaerobní stabilizaci kalu na čistírně odpadních vod.

Tato práce se zabývá v první části rešerší legislativy z oblastí čištění odpadních vod, kalového hospodářství a kogenerace. Dále se věnuje produkci a využití cenného bioplynu pro výrobu elektrické a tepelné energie. V závěrečné části jsou navrženy alternativy řešení dosluhující kogenerační jednotky na ČOV Žďár nad Sázavou. V první variantě je navržena nová jednotka od společnosti Tedom, ve druhé je provedení generální opravy firmou Tedom a třetí je výměna motoru od firmy Motorgas. Všechny varianty jsou ekonomicky zhodnoceny a vybrána nejvýhodnější, kterou je výměna motoru.

## KLÍČOVÁ SLOVA

čistírna odpadních vod, kalové hospodářství, bioplyn, kogenerace, kogenerační jednotky

## ABSTRACT

Energy management is topical issue and we have to solve this global problem. There is also an option to exploit the renewable energy. The source might be biogas produced during anaerobic sludge stabilization. This bachelor thesis deals with using biogas in cogeneration units at sewage water plant.

First section covers the main Czech and EU legislation and regulations in the field of water treatment, sewage sludge treatment and cogeneration. The next section is devoted to production of biogas and possibility of utilization in cogeneration. The thesis divides cogeneration systems and mentions the main parameters such as energy efficient and wattage. Local and European companies are chosen from the fields of manufacturer. The practical part deals with designing of cogeneration unit at sewage water plant Zdar nad Sazavou. According to calculated and measured parameter adequate unit from local manufacturer Tedom is chosen. Moreover, there are other solutions for replacing the engine in the current unit (by Tedom) or general repair (by Motorgas). All options are evaluated from the view of profitable investment. The conclusion is that It would be preferable to replace the engine.

## KEYWORDS

sewage water plant, sewage sludge treatment, biogas, cogeneration, cogeneration unit

---

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Lenka Hoferková *Kogenerační jednotky na čistírně odpadních vod*. Brno, 2016. 60 s.,  
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního  
hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hluštík, Ph.D.

---

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25.5.2016

.....  
podpis autora  
Lenka Hoferková

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Petru Hlušíkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Poděkování také patří všem, kteří mi poskytli informace pro vypracování praktické části práce. Jmenovitě panu Daliboru Novotnému z firmy Tedom za konzultaci při návrhu KJ a potřebná data. Dále děkuji za poskytnutí dat zaměstnancům VAS, a.s, divizi Žďár nad Sázavou. Poděkování rovněž patří i panu Ing. Vladanovi Šváňovi z firmy Motorgas za poskytnuté informace.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1</b>	<b>Legislativa České republiky .....</b>	<b>10</b>
2.1.1	Zákony .....	10
2.1.2	Nařízení vlády .....	12
2.1.3	Vyhlášky .....	14
<b>2.2</b>	<b>Legislativa Evropské unie.....</b>	<b>15</b>
<b>2.3</b>	<b>Normy.....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>BIOPLYN .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Vznik bioplynu.....</b>	<b>19</b>
3.1.1	Řízení methanizace .....	20
3.1.2	Anaerobní čištění odpadních vod .....	21
3.1.3	Anaerobní stabilizace kalu .....	22
<b>3.2</b>	<b>Metody předúpravy čistírenských kalů a zvýšení produkce .....</b>	<b>22</b>
<b>3.3</b>	<b>Využití bioplynu .....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ A TEPLNÉ ENERGIE .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1</b>	<b>Zařízení kogenerační jednotky.....</b>	<b>27</b>
<b>4.2</b>	<b>Rozdělení kogeneračních technologií.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3</b>	<b>Parametry kogeneračních jednotek.....</b>	<b>30</b>
4.3.1	Energetické parametry .....	30
4.3.2	Účinnost transformace primárního paliva .....	31
<b>4.4</b>	<b>Kogenerace se spalovacími motory .....</b>	<b>32</b>
<b>4.5</b>	<b>Výrobci kogeneračních jednotek.....</b>	<b>35</b>
<b>4.6</b>	<b>Kritické zhodnocení řešerše .....</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>ČOV Žďár nad Sázavou.....</b>	<b>38</b>
<b>5.2</b>	<b>Vstupní parametry pro návrh KJ .....</b>	<b>42</b>
5.2.1	Produkce bioplynu .....	42
5.2.2	Složení bioplynu.....	43



---

5.2.1	Spalné teplo a výhřevnost bioplynu .....	44
5.2.2	Příkon v palivu .....	45
<b>5.3</b>	<b>Posouzení.....</b>	<b>45</b>
<b>5.4</b>	<b>Návrh řešení.....</b>	<b>46</b>
5.4.1	Varianta 1: návrh nové výkonnější KJ, TEDOM .....	47
5.4.2	Varianta 2: generální oprava KJ, TEDOM.....	48
5.4.3	Varianta 3: výměna motoru KJ, MOTORGAS .....	49
<b>5.5</b>	<b>Doporučená varianta.....</b>	<b>49</b>
<b>6</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>52</b>
	<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>56</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>57</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>58</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>59</b>
	<b>SUMMARY .....</b>	<b>60</b>

# 1 ÚVOD

Již v minulosti lidé využívali zdroje energií ve svůj prospěch. Zapalovali si dříví na topení a vaření nebo se chránili ohněm před zvěří. Zjistili, že energie větru může pohánět lodě a mlýny. Postupem času vynalezli parní stroje, auta a letadla. Díky tomuto postupnému vývoji se zároveň zvyšovaly nároky na energie.

V dnešní době je problém hospodaření s energiemi velmi aktuální téma. Na jedné straně se snižují zásoby fosilních paliv v přírodě, přičemž existují pouze odhady, na jak dlouho vydrží a kolik jich ještě zbývá. Na straně druhé je rostoucí poptávka po energiích. Dostáváme se do problému, kdy spotřebujeme více energie, než samy vyrobíme a musíme ji dovážet. V souvislosti s tím, vlády jednotlivých zemí po celém světě vypracovávají strategie a plány, aby situaci zlepšily. Jedním z mnoha řešení je využití obnovitelných zdrojů energie, které se přirozeně v přírodě obnovují takovou rychlostí, která zabraňuje jejich vyčerpání. Příkladem může být bioplyn. Obsahuje majoritní cennou složku methan udávající jeho energetický potenciál. Vzniká při anaerobním rozkladu organických látek obsažených v substrátu typu kejda, hnůj, komunální odpad nebo čistírenský kal. Jeho množství je ovlivněno mnoha parametry a společný cíl je co nejvyšší výnosnost produkce. Možností využití bioplynu je několik, od použití v dopravě, přes distribuci do plynárenské sítě, až po kogeneraci.

Na ČOV vzniká bioplyn jako vedlejší produkt při anaerobní stabilizaci kalu nebo při anaerobním čištění odpadních vod, přičemž první možnost je častější. Bioplyn se dále nejčastěji spaluje v kogeneračních jednotkách. Návrh kogenerace neboli kombinované výroby tepelné a elektrické energie začíná studií, která určí, zda je výhodné bioplyn akumulovat a zpracovávat. Důležitá je produkce a obsah složek, které určují jeho výhřevnost v MJ/m<sup>3</sup>. Dále je nutné najít uplatnění pro vyrobenou energii. Elektrickou energii lze využívat buď přímo v místě výroby např. pro pohon strojních zařízení, nebo ji distribuovat do sítě za výkupní cenu. Tepelná energie se většinou využije na vytápění nejbližších budov a zařízení, ale dále se nedistribuuje kvůli velkým ztrátám. Pokud není pro tepelnou energii využití, lze ji odvádět do okolí bez dalšího užitku. Úspory za tepelnou energii a výnosy z prodeje elektrické energie postupně pokryjí náklady na pořízení KJ. Přesné číslo se spočítá jako návratnost a provoz KJ se brzy stane výnosným. Instalace stacionárního spalovacího motoru využívajícího bioplyn představuje výhodný alternativní zdroj energie pro čistírny odpadních vod, které mohou dosáhnout větší ekonomické samostatnosti, popř. úplné finanční nezávislosti.

Při anaerobní stabilizaci probíhající ve vyhnívacích nádržích se zároveň v kalu usmrtí mikroorganismy, odstraní se zápach a kaly lze dále odvodnit. Odvodněný kal, který ČOV vyprodukuje jako konečný odpad, se odstraní. Pojem odstranění je ovšem zavádějící a podle fyzikálních zákonů to není možné. Kal se tedy spaluje, skládkuje nebo využívá jako hnojivo s obsahem živin v zemědělství. Při použití v zemědělství je třeba se řídit platnou legislativou, která omezuje použití kalů v zemědělství okrajovými podmínkami. Problematický je obsah těžkých kovů a dalších látek, které by mohly mít negativní dopad na jakost půdy a posléze na pěstované plodiny, v krajním případě i dopad na člověka.

## 2 KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Odpadní vody (OV) přiváděné na čistírny odpadních vod (ČOV) jsou čištěny mechanickými, mechanicko-biologickými a biologickými procesy. Čištění začíná nejdříve mechanickým předčištěním pomocí česlí, lapáků šterku a písku, usazovacích nádrží apod. V této první části čistírny je produkován **primární kal**, jehož složení tvoří převážně látky biologické povahy a závisí na složení přitékající OV. V dalším biologickém úseku se odděluje **sekundární kal** z dosazovacích nádrží, ten obsahuje nerozložené zbytky organických látek spolu s přebytečnou biomasou. Oba kaly mohou být dále zpracovány a upravovány. [1]

Nakládání s kaly je součástí kalového hospodářství ČOV. Jeho návrh a provoz často ovlivňuje výsledný efekt čištění a dodržování platných legislativních požadavků. Kalové hospodářství by mělo splňovat následující podmínky: [1]

- omezení negativního vlivu kalového hospodářství na hlavní proces čištění,
- zaručení bezproblémového provozu celého systému,
- minimalizace provozních nákladů při současném zajištění dobré funkce kalového hospodářství;
- respektování ochrany životního prostředí.

Při nakládání s kaly jsme omezeni technickými možnostmi vlastního zařízení ČOV, platnou legislativou a v neposlední řadě ekonomikou. Dle legislativy musíme dodržet právní předpisy vztahující se ke kalům, např. při jejich dopravě, použití v zemědělství jako hnojiva, skládkování odpadů, spalování apod. Důležité, ale ne závazné dokumenty, jsou technické normy.

### 2.1 LEGISLATIVA ČESKÉ REPUBLIKY

Legislativa obsahuje soubor platných právních předpisů, kterými se musíme řídit a dodržovat je v oblasti čištění odpadních vod, kalového hospodářství a také kogenerace.

#### 2.1.1 Zákony

Směrodatným dokumentem pro provoz ČOV je **Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů**, ve znění pozdějších předpisů, jehož účelem je chránit povrchové a podzemní vody a dále stanovit podmínky pro hospodárné využití vodních zdrojů. Účelem je i snaha o zachování či zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvoření podmínek pro snížení nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit větší bezpečnost vodních děl. [3]

Ustanovením § 32 Vodního zákona vláda pomocí nařízení stanovuje ukazatele přípustného znečištění OV a jejich hodnoty pro citlivé oblasti a pro vypouštění OV do povrchových vod, které ovlivňují jakost vody v citlivých oblastech. [3]

S kaly z ČOV je nakládáno dle **Zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů**, ve znění pozdějších předpisů. Zákon nařizuje přednostně zajistit využití odpadů. Prioritně by se měly materiálově využít a v případě, kdy to nelze, pak se může zvolit jiný způsob (např. energetický). Odstraňování a likvidace odpadů je až poslední možnost, jak s kaly naložit. [8] Ustanovení § 32 definuje pojmy jako kal, upravený kal, použití kalu a program použití kalu. Ustanovení § 33 předepisuje úpravu a použití kalů v půdě a vymezuje území se zákazem použití kalů, včetně dalších omezujících okolností. [42]

Některé další podmínky používání upravených kalů stanovuje **Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd**, ve znění pozdějších předpisů. Dle vymezených pojmů se rozumí hnojivem látka způsobilá poskytnout účinné množství živin pro výživu kulturních rostlin a lesních dřevin, pro udržení nebo zlepšení půdní úrodnosti a pro příznivé ovlivnění výnosu, či kvality produkce. Touto látkou může být upravený kal z ČOV. Ovšem má to podmínky a omezení, dle ustanovení § 9 používáním hnojiv, pomocných látek, upravených kalů a sedimentů nesmějí být vnášeny do půdy rizikové prvky nebo rizikové prvky v množství, které pro kaly stanoví ministerstvo zemědělství zvláštním právním předpisem. Organická hnojiva, vzniklá anaerobní fermentací při výrobě bioplynu, smějí být používána na zemědělské půdě a lesních pozemcích pouze pokud jsou registrována podle tohoto zákona. To neplatí, jsou-li vyrobena výhradně ze statkových hnojiv nebo krmiv. [19]

**Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií**, ve znění pozdějších předpisů, definuje termín Státní program na podporu úspor energie a využití obnovitelných a druhotných zdrojů energie jako dokument vyjadřující cíle v oblasti zvyšování účinnosti užití energie, snižování energetické náročnosti a využití obnovitelných a druhotných zdrojů v souladu se schválenou státní energetickou koncepcí a zásadami udržitelného rozvoje. Na základě § 5 k uskutečnění Programu mohou být poskytovány dotace ze státního rozpočtu na rozvoj využívání vysokoúčinné kombinované výroby elektrické energie a tepelné energie, rozvoj využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energií. [20]

**Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů**, ve znění pozdějších předpisů, považuje energii z kalového plynu ČOV za obnovitelný nefosilní přírodní zdroj energie. Podpora elektrické energie z obnovitelných zdrojů se stanoví s ohledem na předpokládané hodnoty výroby energie pro jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů pro jednotlivé roky do roku 2020 uvedené v Národním akčním plánu. Podpora elektrické energie se uskutečňuje formou zelených bonusů na elektřinu, nebo výkupních cen. Zelený bonus na elektrickou energii je stanoven v Kč/MWh a poskytován v ročním nebo hodinovém režimu. Zelený bonus na tepelnou energii je stanoven v Kč/GJ a poskytován pouze v ročním režimu. Právo zvolit podporu elektřiny formou výkupních cen má pouze výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů využívající energii vody, a to ve výrobně elektřiny o instalovaném výkonu do 10 MW včetně a ostatní výrobci elektřiny z obnovitelných zdrojů ve výrobně elektřiny o instalovaném výkonu do 100 kW včetně. [21]

**Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů**, ve znění pozdějších předpisů, definuje kdo a za jakých podmínek může podnikat v energetických odvětvích, ale pouze na základě licence udělené Energetickým regulačním úřadem. Tato licence se uděluje nejvýše na 25 let a na obchod s elektřinou na dobu 5 let. Podmínky udělení licence jsou vypsány v tomto zákoně pod § 5. [22]

Dnem platnosti nového **Zákona č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší**, ve znění pozdějších předpisů, byl zmenšen okruh provozovatelů povinných platit poplatky za znečištění ovzduší, uvedených v příloze č. 2, tohoto zákona. Poplatek nově platí pouze provozovatele pístových spalovacích motorů o celkovém jmenovitém tepelném příkonu nad 5 MW. Dále byly zrušeny některé zpoplatněné znečišťující látky. Nyní zůstávají zpoplatněny pouze čtyři látky: [37]

- tuhé znečišťující látky,
- anorganické kyslíkaté sloučeniny síry vyjádřené jako oxid siřičitý,
- anorganické kyslíkaté sloučeniny dusíku vyjádřené jako oxid dusičitý,
- těkavé organické látky.

### 2.1.2 Nařízení vlády

**Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových a OV, náležitostech povolení vypouštění OV do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech**, ve znění pozdějších předpisů, je důležitým prováděcím dokumentem, který ustanovuje ukazatele pro činnost všech subjektů v ČR, které se účastní procesu projektování, výstavby a provozování ČOV. [8]

V tomto novém nařízení z roku 2015 se navíc objevuje pojem aglomerace, což znamená oblast, v níž jsou obyvatelé nebo hospodářská činnost koncentrovány natolik, že jsou městské odpadní vody shromažďovány a odváděny do komunální čistírny odpadních vod nebo do společného místa vypouštění. [2]

Důležitý je §15, který stanovuje, že všechny útvary povrchových vod na území ČR se vymezují jako citlivé oblasti. Z toho vyplývá, že emisní standardy pro citlivé oblasti a pro vypouštění OV do vod povrchových ovlivňují kvalitu (v ukazatelích znečištění celkový dusík a sloučeniny dusíku a celkový fosfor) odpovídají přísnějším hodnotám ukazatelů znečištění vypouštěných OV, viz Tab. 2.1, a minimálním hodnotám účinnosti čištění viz Tab 2.2. [2]

**Tab. 2.1 Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných OV v procentech. [2]**

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	CHSK <sub>CR</sub>	BSK <sub>5</sub>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N <sub>celk</sub>	P <sub>celk</sub>
< 500	70	80	-	-	-
500 - 2 000	70	80	50	-	-
2 001 - 10 000	75	85	60	-	70
10 001 - 100 000	75	85	-	70	80
> 100 000	75	85	-	70	80

**Tab. 2.2 Emisní standardy: přípustné hodnoty, maximální hodnoty a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných OV v mg/l. [2]**

Kategorie ČOV (EO) nebo velikost aglomerace	CHSK <sub>CR</sub>		BSK <sub>5</sub>		NL		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		N <sub>celk</sub>		P <sub>celk</sub>	
	p <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	p <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	p <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	p <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	p <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>	p <sup>1)</sup>	m <sup>2)</sup>
< 500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500 - 2 000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2 001 - 10 000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10 001 - 100 000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
> 100 000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

kde 1) Uváděné přípustné koncentrace „p“ nejsou aritmetické průměry za kalendářní rok a mohou být překročeny v povolené míře.

2) Uváděné maximální koncentrace „m“ jsou nepřekročitelné.

V příloze č. 7 Nařízení vlády č. 401/2015 Sb. jsou stanoveny nejlepší dostupné technologie (BAT) v oblasti zneškodňování OV a podmínky jejich použití viz Tab. 2.3.

**Tab. 2.3 Dosažitelné hodnoty koncentrací a účinností pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování městských odpadních vod. [2]**

Kategorie ČOV (EO)			< 500	500 - 2 000	2 001 - 10 000	10 001 - 100 000	> 100 000
Nejlepší dostupná technologie			a)	b)	c)	d)	e)
CHSK <sub>CR</sub>	koncentrace	p [mg/l]	110	75	70	60	55
		m [mg/l]	170	140	120	100	90
	účinnost [%]		75	75	80	80	85
BSK <sub>5</sub>	koncentrace	p [mg/l]	30	22	18	14	10
		m [mg/l]	50	30	25	20	15
	účinnost [%]		85	85	90	90	95
NL	koncentrace	p [mg/l]	40	25	20	18	14
		m [mg/l]	60	30	30	25	20
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	koncentrace	p [mg/l]	-	12	8	-	-
		m [mg/l]	-	20	15	-	-
	účinnost [%]		-	75	80	-	-
N <sub>celk</sub>	koncentrace	p [mg/l]	-	-	-	14	10
		m [mg/l]	-	-	-	25	16
	účinnost [%]		-	-	-	70	75
P <sub>celk</sub>	koncentrace	p [mg/l]	-	-	2	1,5	0,7
		m [mg/l]	-	-	5	3	2
	účinnost [%]		-	-	75	80	85

- kde
- a) Nízko až středně zatěžovaná aktivace nebo biofilmové reaktory.
  - b) Nízko zatěžovaná aktivace se stabilní nitrifikací.
  - c) Nízko zatěžovaná aktivace se stabilní nitrifikací a se simultánním srážením fosforu + mikrosíta či jiná filtrace.
  - d) Nízko zatěžovaná aktivace s odstraňováním nutrientů + terciální stupeň včetně srážení fosforu eventuálně dávkování externího substrátu
  - e) Nízko zatěžovaná aktivace s odstraňováním nutrientů + terciální stupeň včetně srážení fosforu, dávkování externího substrátu.

BAT je popis postupů a technologií, které jsou považovány za nejlepší, nejpokročilejší a nejúčinnější v daném čase, z hlediska technických možností čištění nebo zneškodňování OV. Tyto technologie mají nejprísnější požadavky na účinnosti čištění a povolených vypouštěných koncentrací. Jejich nasazení znamená, že dopad na životní prostředí by tedy měl být co nejmenší. [16]

### 2.1.3 Vyhlášky

**Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva**, ve znění pozdějších předpisů, stanovuje rizikové prvky a jejich limitní hodnoty v hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a přípustné odchylky. [54]

**Vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv**, ve znění pozdějších předpisů, ustanovením § 9 přikazuje vedení evidence o použití upravených kalů a v § 10 hlášení o použití upravených kalů. [36]

**Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě**, ve znění pozdějších předpisů, stanovuje v části 1. podmínky použití upravených kalů na zemědělské půdě. [53]

**Vyhláškou č. 296/2015 Sb., o technicko-ekonomických parametrech**, jsou dané technicko-ekonomické parametry pro stanovení výkupních cen jednotlivých druhů obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny a pro stanovení zelených bonusů na teplo z obnovitelných zdrojů pro výrobu tepla uvedené v § 24 odst. 4 zákona o podporovaných zdrojích energie, dále dobu životnosti výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a dobu životnosti výroby tepla z bioplynu. [49]

Dle **Vyhlášky č. 37/2016 Sb., o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů**, se rozumí KJ malého výkonu taková, která má instalovaný výkon nejvýše 1 MW a mikrokogenerační jednotkou KJ s instalovaným výkonem nejvýše 50kW. Také určuje, jakým způsobem se stanoví množství elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla. [29]

## 2.2 LEGISLATIVA EVROPSKÉ UNIE

Významnou legislativní normou je **Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES**. Cíl směrnice je společná dohoda států sdílejících společnou mezinárodní oblast povodí na postupu při ochraně vod a vodních ekosystémů. Pro ČR jsou to oblasti povodí Labe, Odry a Dunaje. Jedná se o hlavní směrodatnou listinu v oblasti zlepšování a zachování dobrého stavu vod a vodních ekosystémů. Její platnost je stanovena až do roku 2027. Hlavními nástroji směrnice jsou schválené plány povodí a programy opatření, které jsou její součástí. Stručně hlavní cíle jsou: [15]

- zamezit pokračování zhoršujícího se stavu ekosystémů a mokřadů, jejich ochrana a také zlepšení stavu,
- podpora udržitelné spotřeby vody,
- snížení znečištění povrchových a podzemních vod,
- omezení ničivých účinků povodní a období sucha.

**Směrnice Rady evropských společenství o čištění městských odpadních vod 91/271/EHS** platí již od roku 1991, hlavním cílem je dle čl. 1 ochrana životního prostředí před škodlivými účinky vypouštěných městských OV a vypouštěných OV z určitých průmyslových odvětví. Ve čl. 2 definuje pojmy jako: [8]

- městské odpadní vody, splašky, průmyslové odpadní vody,
- aglomerace, sběrný systém, EO – populační ekvivalent,
- primární čištění, sekundární čištění, přiměřené čištění,
- kal, eutrofizace.

Dále tato směrnice ustanovuje požadavky na vypouštění OV z ČOV viz Tab. 2.4:

**Tab. 2.4 Požadavky na vypouštění z čistíren městských OV. [5]**

Ukazatel	Koncentrace	Minimální procento úbytku	Referenční metoda stanovení
<b>Biochemická spotřeba kyslíku (BSK<sub>5</sub> při 20°C) bez nitrifikace</b>	25 mg O <sub>2</sub> /l	70-90 40 podle čl. 4 odst. 2	a)
<b>Chemická spotřeba kyslíku (CHSK<sub>CR</sub>)</b>	125 mg O <sub>2</sub> /l	75	b)
<b>Nerozpuštěné látky</b>	35 mg/l	90	c)
	35 mg/l (nad 10 000 PE)	90 (nad 10 000 PE)	
	60 mg/l (2000 - 10 000 PE)	70 (2000 - 10 000 PE)	

kde PE populační ekvivalent



- a) Homogenizovaný, nefiltrovaný a nevyhnilý vzorek. Stanovení rozpouštěného kyslíku před pětidenní inkubací a po ní při 20°C +/- 1°C v naprosté tmě. Přídavek inhibitoru nitrifikace.
- b) Homogenizovaný, nefiltrovaný a nevyhnilý vzorek dichroman draselný.
- c) Filtrace reprezentativního vzorku membránovým filtrem 0,45 µm. Sušení při 105°C a zvážení. Odstranění reprezentativního vzorku (po dobu nejméně pěti minut při průměrném zrychlení 2 800 až 3 200 g), sušení při 105°C a zvážení).

Požadavky na vypouštění z ČOV v citlivých oblastech viz Tab. 2.5:

**Tab. 2.5 Požadavky na vypouštění z ČOV v citlivých oblastech, které podléhají eutrofizaci. Podle místní situace se může použít jeden nebo oba ukazatele. Použijí se hodnoty koncentrací nebo procenta úbytku. [5]**

Ukazatel	Koncentrace	Minimální procento úbytku	Referenční metoda stanovení
<b>Celkový fosfor</b>	2 mg/l ( 10 000 - 100 000 PE)	80	molekulární absorpční spektrofotometrie
	1 mg/l (více než 100 000 PE)		
<b>Celkový dusík</b>	15 mg/l ( 10 000 - 100 000 PE)	70 - 80	molekulární absorpční spektrofotometrie
	10 mg/l (10 000 - 100 000 PE)		

**Směrnice Rady 75/442/EHS o odpadech** dle čl. 4 ukládá členským státům přijmout nezbytná opatření, aby zajistily, že odpady budou odstraňovány bez ohrožení lidského zdraví a bez poškozování životního prostředí, zejména: [17]

- bez ohrožení vod, ovzduší, půdy, rostlin a živočichů,
- bez obtěžování hlukem nebo zápachem,
- bez nepříznivého ovlivňování krajiny nebo míst zvláštního zájmu.

**Směrnice Rady 86/278/EHS o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z ČOV v zemědělství**, dle čl. 1 je účelem stanovení pravidel pro používání kalů z ČOV v zemědělství tak, aby se zabránilo škodlivým účinkům na půdu, rostliny, zvířata a člověka a zároveň aby se podpořilo správné používání kalů z ČOV. [23]

## 2.3 NORMY

Při navrhování a provozování ČOV se řídíme českými i evropskými normami.

**Norma ČSN 75 6401 Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500** platí pro navrhování čistíren odpadních vod z malých sídlišť, ČOV a odpadních vod obdobného charakteru, kde velikost celkového znečištění je vyjádřena ekvivalentním počtem obyvatel (EO), tj. součtem počtu obyvatel a populačního ekvivalentu, větším než 500. [9]

**Norma ČSN 75 6415 Plynové hospodářství čistíren odpadních vod** stanovuje zásady pro navrhování, výstavbu a provozování objektů plynového hospodářství všech druhů čistíren odpadních vod, pokud mají plynové hospodářství. [10]

**Norma ČSN 75 8080 Charakterizace kalů – Nakládání s kaly ve vztahu k jejich využití nebo odstraňování**, účelem normy je podání návodu pro nakládání s kaly vystupujícími z procesu úpravy, aby bylo zajištěno, že je kal vhodný pro další použití. Jeho kvalita by měla vyhovovat požadavkům na výstupy podle využití – v našem případě k energetickému zpracování. Kvalita kalu závisí na složení vstupních materiálů a na typu úpravy včetně skladování. Kvalita kalu může být charakterizována jeho rozdílnými biologickými, chemickými a fyzikálními vlastnostmi: [11]

- biologické vlastnosti zahrnují mikrobiologickou stabilitu organických látek v kalu, pach a hygienické charakteristiky,
- chemické vlastnosti zahrnují,
  - obsah potenciálních toxických látek (PTS), mezi které patří anorganické látky (kovy, nekovy, další minerální látky) a organické znečišťující látky,
  - koncentrace a formu (přístupnost) živin pro rostliny a hlavní složky kalu,
- fyzikální vlastnosti zahrnují, zda je kal tekutý, polotuhý (pastovitý), nebo tuhý a dále estetické faktory spojené např. s účinnějším odstraněním nevzhledných zbytků na česlích. Pokud se bude kal spalovat nebo používat jako palivo, je kritérium kvality kalu výhřevnost. Dalšími fyzikálními vlastnostmi jsou zahustitelnost a odvodnitelnost.

Aby nakládání s kaly bylo stále více v souladu s udržitelným rozvojem, podporuje EU hierarchii nakládání s odpady jako rámec, ve kterém by měly členské státy rozvíjet svou strategii nakládání s odpady, ve znění směrnice 91/156/EHS viz Obr. 1. [11]

Odstranění kalu je až poslední možnost. Přijetím strategií zavádění čistých technologií, recyklace a využití by se mělo usilovat o minimalizaci odstraňovaného podílu kalu. Při zvažování, kterou z možností nakládání s kalem zvolit, by se měla postupně prozkoumat všechna stadia vzniku kalu a měl by se určit způsob jeho konečného využití. [11]



**Obr. 1 Hierarchie nakládání s odpady včetně kalů [11]**

## ***Řešení pro recyklaci, využití a odstraňování***

Kaly se mohou využívat ve formě tekuté, odvodněné, vysušené, nebo spálené. Použitý proces by měl být optimální pro zajištění potřebné kvality kalu pro zvolené konečné využití. Nejoblíbenější metodou je aplikace na půdu. Dále popel ze spalovny kalů obsahující železo, mangan a hliník a může být využit při výrobě stavebních materiálů. Z kalu lze využít také energii, tu získáme z methanu při anaerobní stabilizaci kalu nebo spalováním vysušených a odvodněných kalů. A nakonec můžeme využít jednotlivé složky kalu. [11]

**Norma ČSN EN ISO 11734 Jakost vod - Hodnocení úplné anaerobní biologické rozložitelnosti organických látek kalem z anaerobní stabilizace – Metoda stanovení produkce bioplynu.** Specifikuje screeningovou metodu pro hodnocení biologické rozložitelnosti organických látek při dané koncentraci anaerobními organismy. [12]

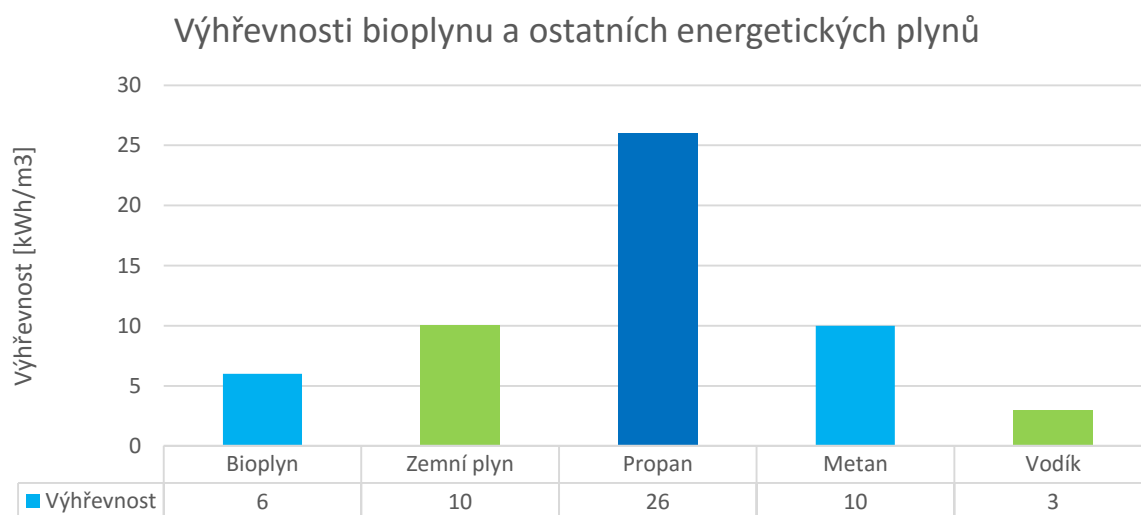
**Norma ČSN 65 6514 Motorová paliva – Bioplyn pro zážehové motory – Technické požadavky a metody zkoušení.** Bioplyn upravený na biomethan je k dispozici pro všechny možnosti využití obdobně jako u zemního plynu, takže použití biomethanu jako obnovitelného zdroje energie představuje ekologicky a hospodářsky účelnou možnost zhodnocení bioplynu. Norma nastavuje požadavky a zkušební metody pro bioplyn určený k užití ve vozidlech se spalovacími zážehovými motory, která jsou na tento druh paliva konstruována. Uvedené požadavky lze aplikovat i pro stacionární spalovací motory pro toto palivo určené. Dle požadavků, by bioplyn měl být odorizován na obdobnou úroveň jako se používá v místních rozvodných systémech. Dále jedním z nejdůležitějších bezpečnostních požadavků pro stlačený bioplyn určený jako palivo je velmi nízká teplota rosného bodu, která vylučuje tvorbu kapalné vody v libovolném okamžiku. Ta by mohla vést k poškození nebo poruše motoru. Musíme také eliminovat potenciální korozivní sloučeniny jako – sloučeniny síry, alkoholy, tuhé částice a olej. [13]

### 3 BIOPLYN

Dříve se v technické praxi až do šedesátých či sedmdesátých let pro plyn vznikající anaerobní fermentací používala synonyma jako „kalový plyn“ anebo „čistírenský plyn“. Dnes je označován výrazem bioplyn a jedná se o plynou směs methanu a oxidu uhličitého, která je produkována na ČOV nebo bioplynových stanicích. Bioplyn je klasifikován jako obnovitelný zdroj energie. [24]

Z hlediska chemického složení se jedná vždy o směs více plynů a fermentovaný zbytek organické hmoty. Hlavními složkami jsou dva majoritní plyny – methan  $\text{CH}_4$  (hodnoty 60–70 %) a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  (30–40 %), jejichž poměr se mění dle podmínek biomethanizace a kvality substrátu. Zbýlá procenta tvoří množství stopových složek (hodnoty desetin procenta) a mohou být organického nebo anorganického původu, např. sulfan, dusík, voda, čpavek a jiné. [31]

Dle Obr. 2 lze srovnat výhřevnosti bioplynu v porovnání s ostatními energetickými plyny. Bioplyn má menší výhřevnost v poměru k objemu než propan, zemní plyn nebo čistý methan, ale dvojnásobně větší než vodík.



Obr. 2 Porovnání výhřevností bioplynu a ostatních energetických plynů (složení: 60 % methan, 38 % oxid uhličitý, 2 % stopové prvky) ve srovnání s jinými hořlavými plyny.[25]

#### 3.1 VZNIK BIOPLYNU

Bioplyn vzniká biologickým rozkladem organických látek za anaerobních podmínek. Tento proces má čtyři fáze, které probíhají kontinuálně souběžně. V první fázi probíhá přeměna makromolekulárních organických látek (bílkoviny, uhlovodíky, tuk, celulóza) na nízkomolekulární sloučeniny, jako jsou jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda. Děj se nazývá hydrolýza a probíhá za přítomnosti anaerobních bakterií (zatím nikoliv methanových) pomocí enzymů. Poté acidofilní bakterie provádí další rozklad na organické

kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek. Z toho pak octotvorné bakterie vytvářejí acetáty, oxid uhličitý a vodík. Teprve v závěrečné fázi metanové bakterie v alkalickém prostředí vytvoří methan, oxid uhličitý a vodu. Po zahájení provozu vyhnívacích nádrží může trvat i několik týdnů, než poslední fáze nastane a než vznikající bioplyn hoří. [25]



Obr. 3 Fáze procesu vzniku bioplynu [25]

Vlastní proces methanizace je v podstatě řízená výroba bioplynu, kterou ovlivňuje: [25]

- plynový výkon = množství plynu běžně vznikající v nádrži, udává denní objem vyrobeného plynu připadající na 1 m<sup>3</sup> vyhnívací nádrže,
- výnos plynu = množství plynu získané ze substrátu během doby kontaktu, udává objem získaný z 1 kg organické sušiny (OS),
- stupeň rozkladu = tzn. kolik procent OS je rozloženo během doby kontaktu,
- doba kontaktu substrátu ve fermentoru,
- čistý výnos plynu = zůstatek po odečtení energie potřebné pro podporu procesu (aby byla spotřeba energie co nejnižší, je potřeba mít co nejvyšší podíl sušiny v substrátu),
- složení a kvalita bioplynu.

### 3.1.1 Řízení methanizace

K řízení methanizace nám slouží proměnné, mezi které patří **teplota**, která je nejlépe technicky zvládnutelná a nezpůsobuje problémy při řízení. Je však nutné zdůraznit, že její náhlá změna může narušit stabilitu reaktoru, nebo dokonce zhroucení procesu. Prakticky jediné dvě proměnné, kterými lze řídit proces jsou tedy **zatížení reaktoru**, tj. rychlost dávkování substrátu do reaktoru a **dávkování chemikálií**, využívané pro obnovení optimálních podmínek, především pH neutralizační kapacitu reakční směsi. [24]

**První strategie** řízení je založená na dávkování chemikálií a neřeší vlastní příčinu nestability (přetížení, intoxikaci). **Druhá strategie** je založená na řízení zatížení a může snížením přítoku substrátu odstranit pravé příčiny nestability. V praxi se používají obě metody. V první řadě je

dávkování chemikálií, a pokud hrozí zhroucení procesu, nastupuje snížení přítoku. Z ekonomického hlediska je tato verze nejvýhodnější, protože je potřeba pouze minimálních rozměrů vyrovnávací nádrže. Předřazená vyrovnávací nádrž srovnává výkyvy v přítoku a koncentraci znečištění. Z této nádrže je pak dávkována homogenní směs. [24]

**Zatížení** lze hodnotit pouze pomocí jedné proměnné a to produkce bioplynu. Z toho vyplývají dvě verze řízení: [24]

- první extenzivní udržuje proces při nízkém zatížení,
- druhá intenzivní při produkci bioplynu těsně pod bodem přetížení.

Pro indikaci stavu methanizace slouží **diagnostické veličiny**. Je výhodou také zavádět on-line měření. Je to ovšem limitováno ekonomicky a technicky podle dostupné přístrojové techniky. Sledujeme parametry plynné, kapalné a tuhé fáze: [24]

- plynná fáze = produkce a složení ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) bioplynu,
- kapalná fáze = pH, CHSK, celkový organický uhlík, koncentraci nutrientů a jiných specifických látek, celkovou koncentraci mastných kyselin, jednotlivé mastné kyseliny, kyselinotvornou a zásadovou kapacitu, rozpuštěné látky celkové, organické i anorganické (solnost), oxidačně-redukční potenciál,
- tuhá fáze = koncentrace suspendovaných látek a jejich organickou frakci, koncentrace organického dusíku (často slouží jako měřítko množství biomasy), filtrační a sedimentační vlastnosti suspendovaných látek,
- a další metody pro sledování aktivity biomasy.

### 3.1.2 Anaerobní čištění odpadních vod

Řízené anaerobní procesy čištění probíhají v reaktorech, ve kterých jsou přítomny anaerobní mikroorganismy. Ekonomická hranice využitelnosti procesu bývá udávána hodnotou koncentrace znečištění dle CHSK kolem 2000 mg/l a vyšší. [14]

Dle teploty lze reaktory provozovat v mezofilní oblasti, optimální je při 35–40°C, nebo v termofilní oblasti okolo 50–55°C. Při teplotách nižších než u nevyhříváných reaktorů jsou reaktory nevýhodné, neboť rychlost rozkladu je pomalá a objem reaktoru značně narůstá. S klesající teplotou vzrůstá koeficient biomasy, při 55°C je cca o 50% nižší než při 35°C. [14]

Výhody anaerobních procesů ve srovnání s aerobními jsou např. nižší nároky na energie nebo menší produkce biomasy (cca 10x) a následně není nutná stabilizace kalu. Mezi nevýhody patří menší reakční rychlost (větší objem reaktoru) nebo vyšší citlivost methanogenních bakterií na vnější podmínky (výrazný vliv teploty na rychlost procesu). [14]

Produkce bioplynu se pohybuje od 0,4 až po 0,5 m<sup>3</sup> na 1 kg odbourané CHSK. Majoritní složkou bioplynu je požadovaný methan (obvykle 60–75 %), zbytek tvoří CO<sub>2</sub> a obsah minoritních složek, který se mění dle složení podmínek provozu (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S). [14]

### 3.1.3 Anaerobní stabilizace kalu

Anaerobně se kal stabilizuje ve vyhnívacích nádržích (methanizačních). Vyhřívání nádrží se navrhuje jako mezofilní nebo termofilní: [9]

- mezofilní anaerobní stabilizace se obvykle navrhuje při provozních teplotách 38–42 °C,
- termofilní technologie se obvykle navrhuje při provozních teplotách okolo 55 °C.

Základními návrhovými technologickými parametry anaerobní stabilizace kalu jsou střední doba zdržení a provozní teplota kalu. [9]

Nádrže pracují na semikontinuálním principu, tzn. denně, nebo i vícekrát za den se část kalu vymění za čerstvý surový kal a ten je třeba řádně promíchat s již vyhnílym kalem, aby organická hmota surového kalu přišla do styku s anaerobními bakteriemi. Kal v nádrži můžeme míchat pomocí čerpadel, nebo již před vstupem smísit kal surový s vyhnílym. Další způsob míchání obsahu nádrže je bioplynem pomocí speciálních kompresorů. Kal lze mísit i pomocí mechanických míchadel. Mícháním v nádržích také zabráňujeme vzniku tzv. kalového stropu, který by se jinak vytvořil na hladině kalu z flotujících částic (tukové látky, vlákna aj.) a spojil by se v kompaktní hmotu, která by snižovala účinný objem nádrže a musela by být pracně odstraňována. [14]

Surový směsný kal z anaerobní stabilizace obsahuje 60–70 % organických látek v sušině. Cílem methanizace ovšem není úplný rozklad biologicky rozložitelné organické hmoty, ale dosažení takového stupně vyhnití, kdy je kal stabilizován, tzn. stupeň technického vyhnití. Účelné je cca 75% odbourání biologicky rozložitelné organické hmoty. V průběhu methanizace dochází tedy k částečnému rozkladu organické hmoty za tvorby bioplynu. Stupeň rozkladu organické hmoty  $P$  [%] lze vyjádřit dle vzorce 3.1: [14]

$$P = \frac{100 \times (f_{os} - f_{ov})}{f_{os} \times (1 - f_{ov})}, \quad (3.1)$$

kde  $f_{os}$  ... podíl organické hmoty v sušině surového kalu [%]

$f_{ov}$  ... podíl organické hmoty v sušině vyhnílého kalu [%]

Bioplyn v tomto případě obsahuje převážně methan 65–75 %, oxid uhličitý 25–35 % a malé množství  $H_2$  a  $N_2$ , případně  $H_2S$ . Specifická produkce plynu závisí na mnoha faktorech. Hlavně závisí na složení a na teplotě vyhnívání. Produkce se pohybuje v rozmezí od 0,45 až 0,76 m<sup>3</sup>/kg. Výchřevnost plynu se pohybuje mezi 18 až 25 MJ/m<sup>3</sup>. [7]

## 3.2 METODY PŘEDÚPRAVY ČISTÍRENSKÝCH KALŮ A ZVÝŠENÍ PRODUKCE

Cílem je při finálním zpracování kalů zvýšení produkce bioplynu a snížení množství produkováných kalů, také jejich hygienizace a úprava kvality, aby co nejvíce vyhovovaly požadavkům dalšího zpracování či uložení. Princip většiny metod je prohloubení biologického

rozkladu při anaerobní i aerobní stabilizaci, který je založen na zpřístupnění substrátu enzymovému rozkladu. [24]

Fyzikálně chemické metody jsou: [24]

- mechanické = desintegrace tuhých látek v substrátu a tedy zvětšení povrchu částic,
- chemické = hydrolýza organických látek pomocí minerálních kyselin nebo alkáliemi,
- fyzikální metody = např. termická hydrolýza na rozložení pevné části substrátu na jednodušší,
- enzymová nebo mikrobiální předúprava = používá se pro specifické substráty např. celulózu.

### ***Stimulace buněčným lyzátem***

Stimulace základních reakcí methanizačního procesu pomocí organických látek např. aminokyselin nebo buněčného lyzátu. Pod pojmem buněčný lyzát rozumíme uvolněný obsah buněk mikroorganismů následkem rozrušení buněčných stěn. Buněčný lyzát působí přímo stimulačně na růst a činnost přítomných mikroorganismů, nebo nepřímo enzymy, které obsahuje, způsobí lýzi dalších mikrobiálních buněk. Použití lyzátu jako činidla při laboratorních podmínkách způsobí zvýšení produkce bioplynu o 10–30 % a dochází také k hlubšímu rozkladu organické hmoty. [24]

### ***Mechanická desintegrace***

Existují rozličné metody mechanické destrukce kalů, např. pomocí kulových mlýnů. Pomocí kulových mlýnů se dosáhne zvýšení produkce, až na 162 % viz Tab. 3.1. [24]

**Tab. 3.1 Vliv mechanické desintegrace na produkci plynu [24]**

	CHSK [mg/l]			zvýšení produkce bioplynu vztažené k neupravenému kalu
	celková	rozpuštěná před desintegrací	rozpuštěná po desintegraci	%
<b>aktivovaný kal (<math>Q_x=7d</math>)</b>	6300	200	3024	110
<b>aktivovaný kal anaerobně stabilizovaný</b>	31 130	160	3113	124
<b>anaerobně stabilizovaný kal</b>	59 750	360	1792	162

Kde  $Q_x$  ... stáří aktivovaného kalu [den]



## ***Desintegrace ultrazvukem***

Ultrazvuk má také destruktivní účinky na látky obsažené v kalu. Při zkoumání jeho vlivu na surový kal při anaerobní stabilizaci kalu byl použit ultrazvukový reaktor pracující na frekvenci 31 kHz a výkonu 3,6 kWh. Ultrazvuk působil 96 sekund na kal o obsahu 27,8 g/l organických látek. Bylo uvolněno přes 6,5g CHSK do roztoku (cca 30% destrukce). Při anaerobní fermentaci tohoto kalu bylo dosaženo zvýšení produkce bioplynu o 31 % oproti neupravenému a snížení obsahu organických látek v kalu. Díky krátké době zdržení umožnila metoda zvýšení výkonnosti reaktoru na 270 % (přepočítáno z produkce bioplynu): [24]

**Tab. 3.2 Vliv desintegrace ultrazvukem na snížení obsahu organických látek v kalu při anaerobní stabilizaci [24]**

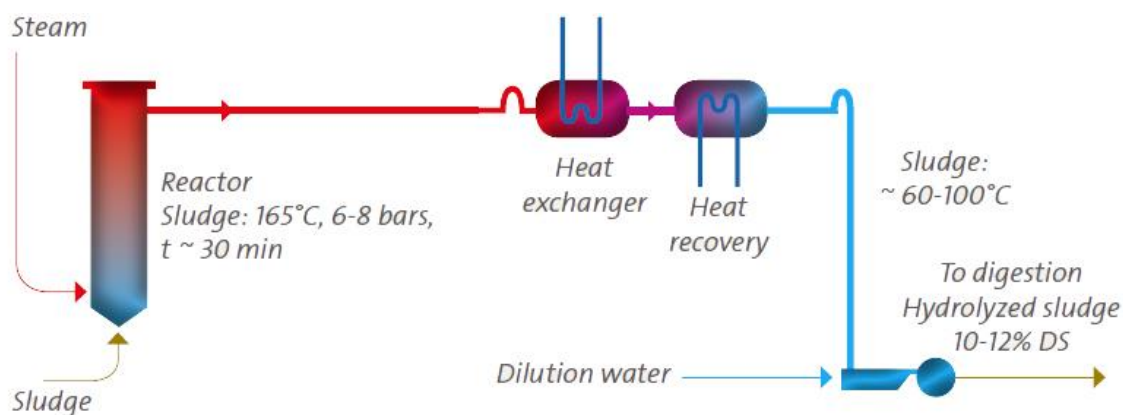
Surový kal	Doba zdržení [dny]	Snížení obsahu organických látek [%]
neupravený	22	45,8
desintegrováný	22	50,3
desintegrováný	15	49,3
desintegrováný	12	47,3
desintegrováný	8	44,3

## ***Fermaxx®***

Výrobek Fermaxx® je stimulační látka, vyrovnávající nedostatek stopových prvků a minerálů v biologickém procesu methanizace. Přidáním směsi do vyhnívacích nádrží se dosáhne maximální výkonnosti bakterií a zvýšení produkce bioplynu. Směs obsahuje stopové prvky a minerály a je vyrobena na míru ze složení vstupního substrátu. Pravidelným dávkováním přípravku Fermaxx® se snižuje obsah organických kyselin a díky tomu se stává proces fermentace stabilnější. Působením dochází také k efektivnějšímu rozkladu substrátu a tím se zvýší produkce i kvalita bioplynu při konstantním dávkování surovin. Při dlouhodobé aplikaci lze dosáhnout zvýšení produkce bioplynu až o 10 %. Dále je materiál ve vyhnívacích nádržích více homogenní, čímž se usnadňuje jeho čerpání a míchání. Nasazení přípravku se doporučuje tam, kde je dosažena maximální hranice technologie, ale biologie nabízí ještě velký potenciál. [45]

## ***Exelys®***

Principem technologie Exelys® od výrobce Veolia je kombinace tepelné hydrolýzy organické části kalu a následné anaerobní vyhnívání. Principem tepelné hydrolýzy je vhánění páry do reaktoru a působení při určitém tlaku a teplotě po dobu asi 30 minut. Dochází k rozkladu organických látek a během následného vyhnívání se zvýší produkce bioplynu o 20–50 % a sníží se podíl sušiny kalu na 25–35 %. [46]



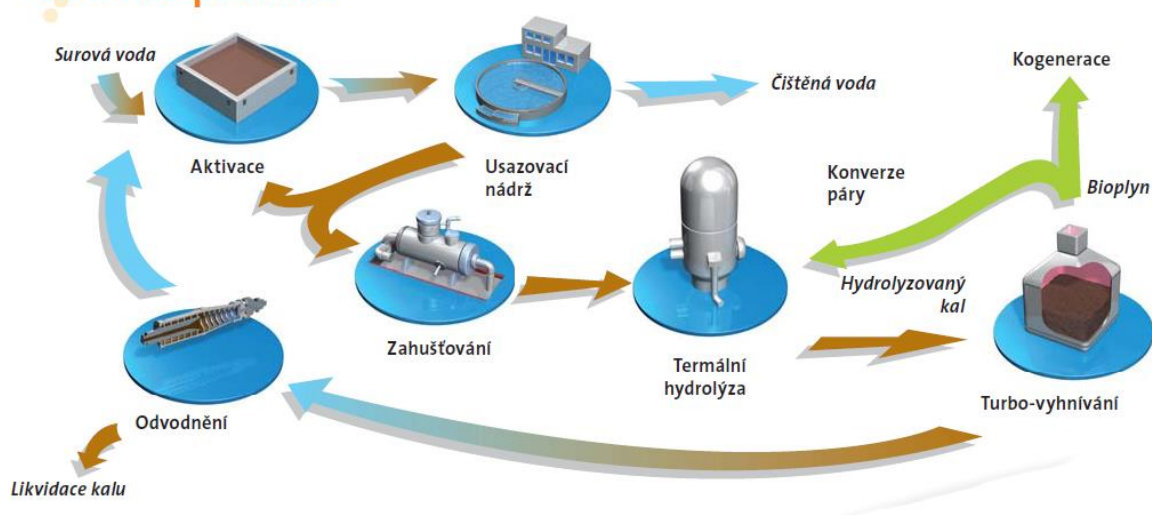
Obr. 4 Schéma procesu EXELYS [46]

### **BioThelys®**

Další technologie opět od výrobce Veolia je založená na kombinaci termální hydrolyzy THELYS® a na navazujícím biologickém rozkladu. Během termální hydrolyzy je část nerozpuštěných látek rozložena, čímž se vytváří snadněji biologicky odbouratelný kapalný kal. Následně se biologicky odbouratelné látky nechají anaerobně vyhnít. Kromě zvýšení produkce tato metoda také nabízí: [46]

- snížení množství přebytečného kalu a zlepšení jeho kvality;
- zmenšení objemu kalu zlepšením jeho odvodňovací charakteristiky;
- snížení velikosti vyhnívací nádrže, protože přivádíme koncentrovanější kal a zkrácení doby zdržení;

### **Schéma procesu**



Obr. 5 Schéma procesu BIOTHELYS [46]

## **ECRUSOR®**

Ecrusor® je zařízení od firmy Veolia na drcení a třídění biologicky rozložitelného odpadu, který separuje organický odpad z průmyslových potravinových odpadů např. jogurty, smetana, prošlé potraviny atd. od jeho obalu. Výsledný separovaný odpad je zpracován, homogenně smísen a připraven k přidání do vyhnívací nádrže. Zbylý čistý rozdrcený obalový materiál pak lze spálit ve spalovně, nebo uložit na skládku. Zpracovávané výrobky viz Obr. 6: [48]

Tekuté	Balené výrobky
<ul style="list-style-type: none"><li>• Odpadní vody s obsahem pevných látek 1–30 %;</li><li>• Nebalený mlékárenský odpad;</li><li>• Znečištěná voda ( mobilní toalety) a splašková voda;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Balené mléčné výrobky;</li><li>• Balené masné výrobky;</li><li>• Balené cukrářské výrobky, zpracovávání zbytků;</li><li>• Balené koláče a zbylé nezpracované těsto;</li><li>• Prošlé balené nealkoholické nápoje;</li><li>• Prošlé potraviny;</li></ul>

Obr. 6 Výpis výrobků zpracovávaných v technologii ECRUSOR [48]

### **3.3 VYUŽITÍ BIOPLYNU**

Bioplyn lze využít všude tam, kde se využívají i jiná plynná paliva. Nutností je přizpůsobení spotřebiče upravenému bioplynu. Mezi způsoby energetického využití bioplynu patří: [32]

- přímé spalování (vaření, svícení, chlazení, topení, sušení apod.),
- výroba elektrické energie a ohřev teplonosného média (kogenerace),
- výroba elektrické energie, ohřev teplonosného média, výroba chladu (trigenerace),
- pohon spalovacích motorů nebo turbín pro získání mechanické energie,
- využití v palivových člancích.

## 4 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ A TEPELNÉ ENERGIE

Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (KVET) se jinak nazývá kogenerace a znamená společnou, postupnou, či současnou produkci elektrické a tepelné energie z primární formy energie, např. z bioplynu. Systém, který vyrábí a dopravuje obě energie o požadovaných parametrech pro spotřebu, se nazývá kogenerační systém (KS). Transformace primárních energií probíhá v kogeneračních jednotkách (KJ), které mají vyšší účinnost, než by se dosáhlo při použití více samostatných zařízení. Dochází k šetření energií při porovnání kombinované a oddělené výroby tepelné a elektrické energie až o 30 %. [28]

Kogenerační technologie lze z fyzikálního hlediska rozčleňovat do dvou základních skupin, ve kterých se přeměna energií provádí: [28]

- nepřímým způsobem,
- přímým způsobem.

**Nepřímým** způsobem je energie přeměněna pomocí více energetických transformací. Nejvíce využívané jsou 3 transformace. Nejdříve se uvolní tepelná energie obsažená v palivu, poté je získávána technická práce a ta se pak přemění na elektrickou. U **přímého způsobu** se provádí přímá přeměna energie z paliva na elektrickou. [26]

### 4.1 ZAŘÍZENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

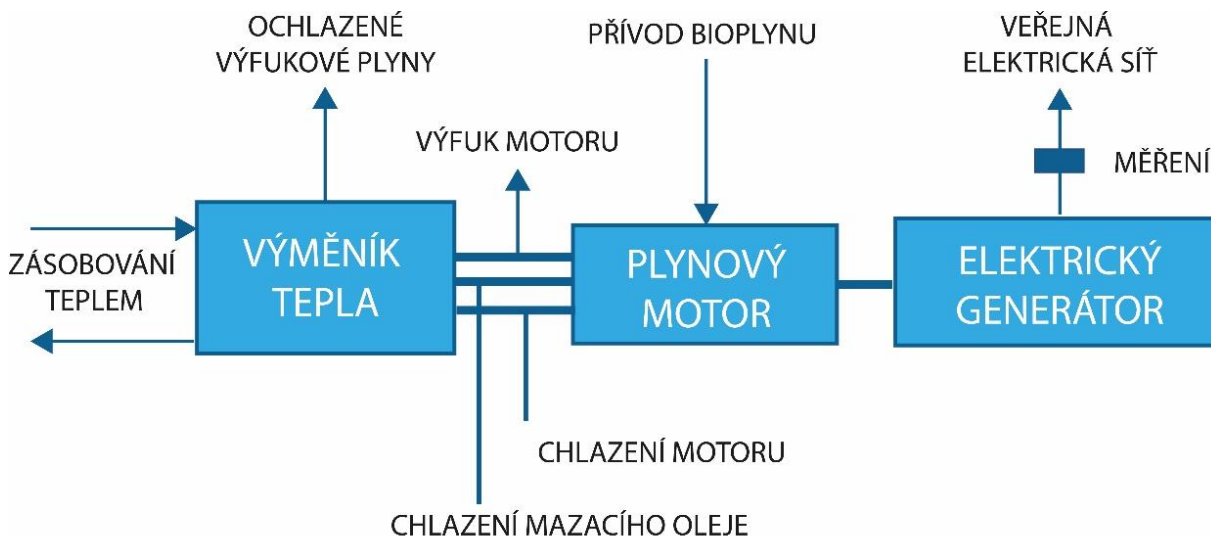
Pokud je třeba, zařazujeme před vlastní KJ **zařízení pro úpravu paliva** sloužící pro úpravu vstupní formy energie na požadovanou formu, se kterou pracuje primární jednotka. Při úpravě dochází k: [28]

- zušlechtění paliva,
- úpravě prvkového složení paliva,
- úpravě podmínek pro použití.



Obr. 7 Zařízení pro odsíření bioplynu na ČOV Otrokovice [zdroj: Lenka Hoferková]

Hlavní část KJ tvoří **primární jednotka** tedy **motor** spojený se synchronním nebo asynchronním **generátorem**, vyrábějící elektrickou energii. Celé zařízení je většinou pružně uložené na rámě a spolu se soustavou **výměníků tepla** umožňuje komplexně využít odpadní teplo motoru. Poslední částí je **řídící a kontrolní systém** umožňující ovládání. [28]



Obr. 8 Schéma KJ [28]

**Primární jednotka KJ** tvoří hlavní část. Přeměňuje energii z paliva nebo pracovní látky tepelného oběhu na ušlechtilější formu energie (elektrickou). Teplo, které se uvolní nebo je zbytkové, lze poté také dále využít. Jednotlivé formy energií v určité kvalitě, množství a v potřebném čase jsou parametry, které limitují možnosti primární jednotky. Primární jednotky rozdělujeme na: [26]

- tepelný motor,
- palivový článek,
- zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie spojeno s:
  - elektrickým generátorem,
  - elektrickým kondicionérem.

Teplo je odváděno z KJ a transformováno v **rekuperačním zařízení tepelné energie**. Nejčastější teplonosná média, která vystupují z rekuperačních výměníků, jsou: [26]

- nízkoteplotní voda o teplotě do 100°C,
- vysokoteplotní voda o teplotě 150-200°C,
- vodní pára,
- teplý vzduch.

Lze využít i tepelnou energii pracovních látek tepelného oběhu přímo bez rekuperace. [26]

## 4.2 ROZDĚLENÍ KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Rozdělit kogenerační technologie lze podle více hledisek. Ovšem základní částí, která určuje typ technologie je primární jednotka. Dělíme je tedy podle: [26]

- použitého primárního paliva,
- maximálního dosažitelného výkonu,
- účelu užití,
- samotné technologie a efektivnosti nasazení KJ.

Rozčlenění podle maximálního dosažitelného výkonu, určuje rozmezí pro elektrický a tepelný výkon, který je možné odebírat z KJ. Přitom hranice výkonového rozmezí jsou od 1 kW<sub>E</sub> do 500 MW<sub>E</sub> a dělíme je takto: [26]

- mikro-kogenerace do výkonu 50 kW<sub>E</sub>,
- mini-kogenerace do výkonu 500 kW<sub>E</sub>,
- kogenerace malého výkonu do 1 MW<sub>E</sub>,
- kogenerace středního výkonu do 50 MW<sub>E</sub>,
- kogenerace velkého výkonu nad 50 MW<sub>E</sub>.

Díky vývoji v posledních desetiletích je na trhu široká škála vhodných kogeneračních zařízení umožňující jejich výběr přesně dle nároků a požadavků odběratele energií. V současné době se jako pohon v KJ nejčastěji používají: [28]

- parní turbíny,
- spalovací turbíny,
- spalovací motory,
- paroplynová (kombinovaná) zařízení.

Novější technologie pak jsou: [28]

- Stirlingův motor,
- mikroturbíny,
- zařízení využívající organický cyklus,
- systém Talbott,
- parní motory,
- palivové články.

Porovnání provozních parametrů některých primárních jednotek pro běžné komerční využití viz Tab. 4.1:

Tab. 4.1 Parametry primárních motorů využívaných pro KJ [26]

Typ primární jednotky	Elektrický výkon	Pohotovost	Elektrická účinnost [%]		Celková účinnost	Modul teplárenské výroby
	MW	%	$P_{E,n}$	$0,5 \times P_{E,n}$	%	-
Palivové články	0,04–50	90-92	37-45	37-45	85-90	0,8-1,0
Parní turbína	0,5–100	90-95	14-35	7–28	60-85	0,1-0,5
ORC	0,3–1,8	90-94	15-20	15-20	65-85	0,1-0,3
Plynová turbína	0,1–100	90-95	25-40	18-30	60-80	0,5-0,8
Mikroturbína	0,025–0,25	90-95	30-40	20-30	65-85	0,6-0,85
Stirlingův motor	0,003–1,5	85-95	35-50	34-49	60-80	1,2-1,7
Vznětový (Diesel) motor	0,07–50	80-90	35-45	32-40	60-85	0,8-1,4
Zážehový motor	0,015–2	80-85	27-40	35-35	60-80	0,5-0,7

## 4.3 PARAMETRY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK

### 4.3.1 Energetické parametry

Energetické parametry udávají možnosti KJ a jsou to: [26]

- elektrický výkon,
- tepelný výkon,
- kvalita tepelné energie,
- poměr elektrického a tepelného výkonu.

**Elektrický výkon**  $P_E(t)$  [W] udává okamžitou hodnotu, kterou je KJ schopna dodat. Může se pohybovat od minimální hodnoty  $P_{E,min}$  do maximální hodnoty  $P_{E,max}$  a pásmo mezi nimi je regulační rozsah. Jmenovitý výkon  $P_{E,n}$  je pak hodnota, při které je výroba maximálně účinná a provoz nejehospodárnější. [26]

Naopak **tepelný výkon**  $P_T(t)$  [W] je okamžitá hodnota, kterou lze z KJ účinně využít pro dodávku tepla. Jestliže není odběr pro vyrobené teplo, je nutné zajistit jeho odvod mimo KJ do okolí. [26]

**Kvalita tepelné energie** je dána její formou. Teplo lze rozdělit jako vysokopotenciální a nízkopotenciální, přičemž vysokopotenciální má větší využití (vysoušecí procesy, tepelné zpracování, výroba páry). Pokud není teplo využito, je nutné jej odvést do okolí viz Obr. 9. [26]





Obr. 9 Odvod tepelné energie do okolí na ČOV Otrokovice [zdroj: Lenka Hoferková]

**Poměr elektrického a tepelného výkonu  $\sigma$  [-]** (elektrické práce a užitečně využitého tepla) se v teplárenství nazývá modul teplárenské výroby elektrické energie a lze jej vyjádřit pomocí rovnice 4.1. [26]

$$\sigma = \frac{P_E}{P_T} = \frac{P_{E,\%}}{P_{T,\%}}, \quad (4.1)$$

kde  $P_E$  ... výkonová hladina elektrického výkonu [W]

$P_T$  ... tepelný výkon [W]

$P_{E,\%}$  ... procentní zastoupení elektrického výkonu na celkovém výkonu KJ [%]

$P_{T,\%}$  ... procentní zastoupení tepelného výkonu na celkovém výkonu KJ [%]

### 4.3.2 Účinnost transformace primárního paliva

Účinnost je charakterizována jako poměr vstupní a výstupní formy energie určitého energetického systému. S ohledem na vyrobené energetické formy se definují účinnosti: [26]

- elektrická účinnost;
- tepelná účinnost;
- celková účinnost;

**Elektrická účinnost  $\eta_E$  [-]** je účinnost přeměny energie v palivu na elektrickou a je dána vztahem 4.2: [26]

$$\eta_E^{KVET} = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{E}{m_{pal} \times Q_i} = \frac{P_E}{M_{pal} \times Q_i}, \quad (4.2)$$

kde  $E$  ... elektrická práce, energie [W]

$Q_{pal}$  ... chemické teplo, které je určeno výhřevností paliva [kJ/kg]

$m_{pal}$  ... hmotnost nebo objem paliva [kg, m<sup>3</sup>]



$Q_i$  ... energie v objemové nebo hmotnostní jednotce paliva (výhřevnost) [J/kg, J/m<sup>3</sup>]

$P_E$  ... výkonová hladina elektrického výkonu [W]

$M_{pal}$  ... hmotnostní nebo objemový průtok paliva [kg/s, m<sup>3</sup>/s]

**Tepelná účinnost  $\eta_T$  [-]** je účinnost přeměny energie v palivu na užitečně využitelnou tepelnou energii a je definována dle vzorce 4.3: [26]

$$\eta_T^{K\dot{V}ET} = \frac{Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{Q_{UV}}{m_{pal} \times Q_i}, \quad (4.3)$$

kde  $Q_{uv}$  – užitečně využitá tepelná energie [J]

A **celková účinnost  $\eta_c$  [-]** je účinnost přeměny energie v palivu na užitečně využitou energii. Je to součet dílčích účinností a je dána vztahem 4.4: [26]

$$\eta_c^{K\dot{V}ET} = \eta_E^{K\dot{V}ET} + \eta_T^{K\dot{V}ET} = \frac{E + Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{E + Q_{UV}}{m_{pal} \times Q_i} \quad (4.4)$$

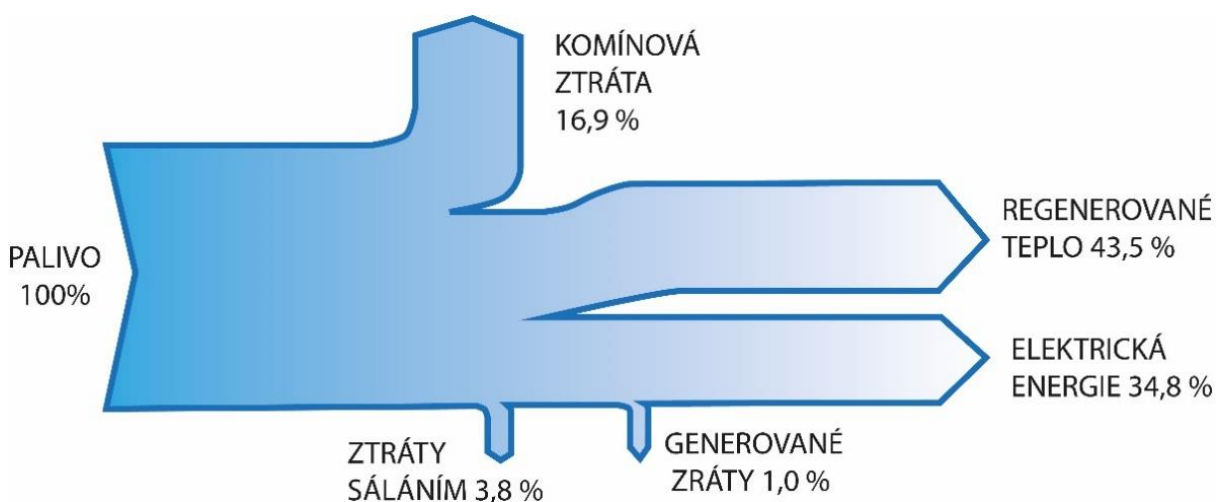
kde  $\eta_c^{K\dot{V}ET}$  ... celková účinnost [-]

$\eta_E^{K\dot{V}ET}$  ... elektrická účinnost [-]

$\eta_T^{K\dot{V}ET}$  ... tepelná účinnost [-]

#### 4.4 KOGENERACE SE SPALOVACÍMI MOTORY

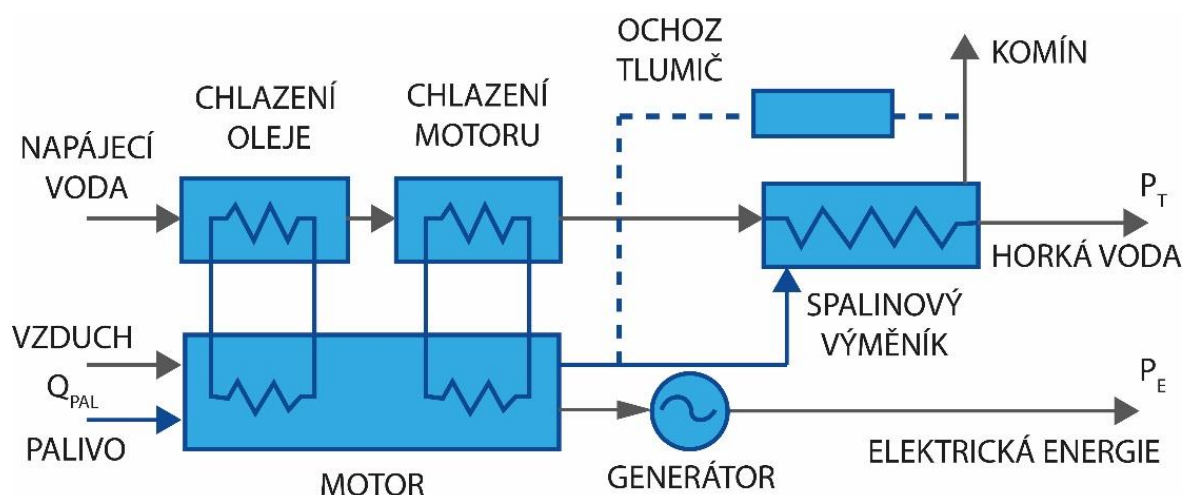
Spalovací motory (SM) patří do kategorie motorů s vnitřním spalováním. Princip je jednoduchý, v pracovním prostoru motoru dochází k oxidaci paliva a tím k uvolnění tepelné energie, poté se přemění tepelná energie na mechanickou. Využití energie z paliva je znázorněno na Obr.10. [26]



Obr. 10 Využití energie z paliva ve spalovacím motoru [26]

Spalovací motory tvoří skupina pístových, které přemění přímočarý pohyb pístů na rotační. Do válcové spalovací komory je nasáván vzduch spolu s palivem, nebo se do něj palivo vstříkuje. Tato směs se stlačí pístem a zapálí. Expanzí plynu je píst opět vrácen do své původní polohy. [26]

SM regulují výkon podle změny množství paliva a tím změny spalovací teploty. Pokud jednotku zatížíme pouze částečně, dojde k poklesu teplotního poměru mezi koncovou a počáteční teplotou, čímž poklesne také elektrická účinnost. U zážehových motorů při výkonu na  $0,5 P_{E,n}$  činí pokles účinnosti 8–10 %. Změna zatížení u KJ je operativní a velmi rychlá. SM najednou do plného výkonu za krátkou dobu i ze studeného stavu. [26]



Obr. 11 Schéma KJ se spalovacím motorem [26]

Pístové spalovací motory jsou komplexně využívány nejen k výrobě elektrické energie ale také v dopravě nebo pro pohon strojních zařízení. SM rozdělujeme podle: [26]

- způsobu zapalování paliva,
- typu použitého paliva,
- počtu rovnoměrných pohybů použitých pro tepelný oběh,
- počtu a způsobu řazení válců,
- způsobu úpravy spalovacího vzduchu,
- rychlosti otáčení hřídele.

Způsob, jak dochází k zapálení paliva, je hlavním bodem členění SM a to na: [26]

- zážehové – zapálení pomocí elektrické jiskry,
- vznětové – směs se zapálí sama po dosažení zápalných hodnot.

Počet pohybů pro realizaci jednoho tepelného oběhu udává počet posuvů pístu a rozděluje motory na: [26]

- dvoutaktní,
- čtyřtaktní.

Úprava spalovacího vzduchu znamená, že před vstupem do spalovacího prostoru můžeme vzduch stlačit a dosáhneme větší hustoty energie v pracovním prostoru pístu. [26]

Rychlost otáčení hřídele motoru (otáčky/minutu) rozděluje SM na: [26]

- pomaloběžné (55–275 ot/min),
- střední otáčky (276–1000 ot/min),
- rychloběžné (1001–3600 ot/min).

### ***Parametry spalovacích motorů***

**Elektrický a tepelný výkon** nabízí v rozmezí 10 kW–5MW nebo i větších výkonů. Modul teploty výroby se pohybuje kolem hodnoty 1. [26]

**Tepelná energie** je odebírána a transportována ve formě horké vody, páry o nízkých parametrech, nebo ji lze využívat pro technologické procesy (chlazení, klimatizace). Teplo odebíráme ze čtyř míst motoru a to z výfukových spalín, chladicí vody motoru, mazacího oleje motoru a chlazení kompresoru spalovacího vzduchu. [26]

**Účinnost** je dvojí tepelná a elektrická. Elektrická účinnost se u Diesellových motorů pohybuje mezi 28 až 42 %, naopak u vznětových dosahuje 30–48 %. Celková účinnost je pak závislá na stupni využití tepelné energie. [26]

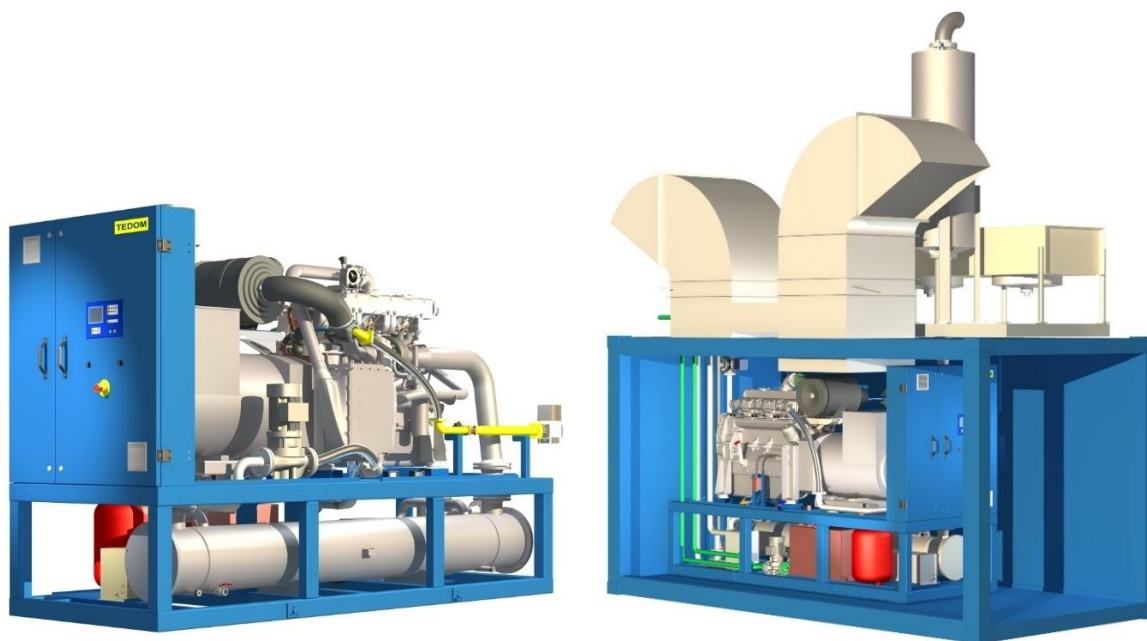
**Palivo** lze využívat kapalně či plynné, přičemž zážehové motory pracují převážně s plynými palivy (zemní plyn, bioplyn). Na druhou stranu vznětové motory spalují kapalná paliva jako je nafta, těžký olej anebo jsou duální s plynem jako hlavním palivem. [26]

Nároky na **údržbu** zahrnují běžnou údržbu, tedy pravidelnou kontrolu zařízení, zejména oleje. Po 500–2000 mth je nutná výměna oleje, filtrů a chladicí kapaliny. Po 8000–30 000 mth nastává střední oprava, při níž se vymění hlavy válců, turbokompresor apod. Generální oprava pak přichází po 30 000–70 000 mth a pak se vyměňují písty, kontroluje se hřídel a ložiska. [26] Náklady na údržby KJ se pohybují v rozmezí 22–36 Kč/mth, záleží na tom, zda zahrnují generální opravu či ne. [50]

**Životnost** motorů je v dnešní době kratší, neboť mají mnoho třecích ploch, ale jsou více spolehlivé. Opravy by se měly provádět v pravidelných intervalech. [26] Výrobci udávají rozumnou dobu životnosti 100 tis. mth s tím, že při 50 tis. mth se provádí generální oprava KJ. [50]

## 4.5 VÝROBCI KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK

Na trhu v oblasti kogeneračních technologií působí mnoho společností. Jedná se výrobce, kteří se specializují na průmyslové a komerční stacionární motory poháněné plynem. V jejich nabídce lze nalézt také trigenerační jednotky nebo doplňková zařízení např. pro úpravu plynu. Nabízejí několik provedení KJ např. vnitřní do strojovny nebo venkovní v kontejneru.



Obr. 12 Kogenerační jednotka vnitřní (vlevo) a venkovní (vpravo) od výrobce Tedom [34]

### ***BOSH***

Historie firmy začíná již v roce 1978, kdy byla založena společnost Köhler & Ziegler. Podnikat v oboru KVET začala v roce 1983 a vyrobila první jednotky v rámci projektu nazvaném "Erlkönig". Od roku 2008 pak firma přechází pod Bosh Thermotechnik GmbH. [41]

V sortimentu KJ nabízí 3 různé typy podle použitého paliva. První je CHP systém, který je možné pohánět bioplynem a má výkon elektrické energie 50–365 kW<sub>E</sub>. Další systém s názvem ORC využívá odpadní teplo na výrobu „zelené“ elektrické energie. Poslední CHP moduly jsou modulové kogenerační jednotky pro komerční využití např. do hotelů, bazénů nebo průmyslu.[41]

### ***GT ENERGY s.r.o.***

Společnost GT ENERGY je dodavatel KJ v České republice a zabývá se úsporami energií a dodávkou úsporných technologií. Firma byla založena v roce 1997 a sídlí v Praze. Její vizí je vyhledávat nové úsporné technologie a aplikovat je v České republice.

Dodávají tepelná čerpadla, zařízení pro rekuperaci tepla a od roku 2014 také mikrokogenerační jednotky od japonské značky YANMAR. Tyto KJ standardně nabízí ve venkovním provedení a jsou vhodné pro zemní plyn i bioplyn. Z hlediska elektrického výkonu nabízí 5–25 kW<sub>E</sub> a řadí se do kategorie mikrokogenerací, jež jsou vhodné pro menší technologické provozy nebo pro podnikatelské provozovny. [38]

### ***KARLA ENERGIZE***

Karla Energize patří pod skupinu společnosti Karla, spol. s.r.o. Společnost vznikla v roce 1991. V jednotkách poháněné bioplymem běží motory MAN nabízející elektrický výkon 32–530 kW<sub>E</sub>. Varianty provedení konstrukce KJ pro různé možnosti instalací jsou na rámu, v kapotě nebo v kontejneru. [43]

### ***MOTORGAS***

Firma Motorgas byla založena v roce 1992. Zakladatelé a dnešní spoluvlastníci jsou z Prahy, kde je také hlavní sídlo firmy. Partnerem společnosti je dodavatel plynových motorů MAN, jež dodává motory pro řadu kogeneračních jednotek MOTORGAS MGM spalující bioplyn a další plyny. Tato řada je kompletně vyráběna a vyvíjena v České republice a jedná se o ryze zakázkovou výrobu umožňující přizpůsobení individuálním potřebám projektů. Nabízí elektrický výkon 29 kW<sub>E</sub>–530 kW<sub>E</sub>. Dále jsou v nabídce KJ typu MGJ s motorem Jenbacher a KJ typu MGW s motorem Waukesha, které se používají až pro větší výkony 250 kW<sub>E</sub> a více. [35]

### ***SCHNELL MOTOREN AG***

Tato německá společnost vyrábí a sama vyvíjí technologie KJ od roku 1992. Jako paliva využívají bioplyn i zemní plyn. Uvnitř běží plynové zážehové motory od výrobce SCANIA. Díky vysokým nárokům na kvalitu bioplynu, dosahují jejich jednotky elektrické účinnosti až 46,1 %, přičemž běžné KJ mají jen kolem 30 %. Výsledný výnos z výroby elektrické energie je tak mnohem vyšší. Elektrický výkon KJ nabízí 160–340 kW<sub>E</sub>. [47]

### ***TEDOM s.r.o.***

Firma TEDOM s.r.o. na trhu kogenerace a energetiky působí již 23 let, od roku 1993. Byla založena v roce 1991 v Třebíči a předmětem její činnosti je vývoj a výroba kogeneračních jednotek s plynovými spalovacími motory. Od roku 2001 nabízí KJ na spalování bioplynu. Příkon v palivu těchto KJ se pohybuje od 80 kW až 4667 kW. Spolu s KJ nabízí i zařízení na úpravu bioplynu. [34]

KJ od firmy TEDOM se standardně dodávají ve čtyřech provedeních: [34]

- provedení bez protihlukového krytu,
- kompaktní blokové provedení s protihlukovým krytem,

- umístěné v kontejneru,
- modulové provedení.

### ***VIESSMANN, spol. s.r.o.***

Skupina Viessmann je mezinárodní výrobce systémů vytápění, chladicí a klimatizační techniky. Byla založena v roce 1917 v Německém Allendorfu. Nabízí kogenerační jednotky pro průmyslovou výrobu tepelné a elektrické energie obsahující moduly motorů poháněné zemním plynem a bioplynem označované jako typ Vitobloc 200. Jejich elektrický výkon se pohybuje od 36 kW<sub>E</sub> do 366 kW<sub>E</sub>. Při provozu na bioplyn není nutné čištění bioplynu na biomethan a součástí sériové výbavy je i vybavení pro záložní provoz. [40]

#### ***Další výrobci***

- BMF HAASE – Německo, výkon KJ 400–2000 kW<sub>E</sub>;
- EC Power – Dánsko, výkon 3 kW<sub>E</sub>–80 kW<sub>E</sub>;
- Margen – Itálie, výkon 30–2000 kW;
- TTS MARTIN – Slovensko, výkon 32–1950 kW<sub>E</sub>;
- ZEPPELIN – Německo, výkon 400–9800 kW<sub>E</sub>;

## **4.6 KRITICKÉ ZHODNOCENÍ REŠERŠE**

Bioplyn je složen z methanu, oxidu uhličitýho a ostatních minoritních složek. Je produkován při anaerobní fermentaci kalů na ČOV. Methan je hlavní složka, která určuje výslednou výhřevnost plynu, ta se pohybuje kolem 20 MJ/m<sup>3</sup> neboli 6 kW/m<sup>3</sup>. Není to zanedbatelná hodnota v porovnání se zemním plynem, který má výhřevnost 10 kW/m<sup>3</sup> a hojně je využíván v domácnostech i v průmyslu. Má smysl tedy zvážit možnost akumulace a využití bioplynu v kogeneraci.

Pakliže je bioplyn na ČOV již využíván, lze uvažovat o metodách zvyšujících jeho produkci a navýšení výnosů. Principem většiny metod je předúprava kalů z hlediska fyzikálně-chemického, nebo lze využít organický odpad, jako jsou prošlé potraviny apod., který se přidává do substrátu při vyhnívání. Výsledkem je zvýšení produkce řádově až o desítky procent.

Na ČOV je získaný bioplyn přiváděn do KJ a přeměněn na elektrickou a tepelnou energii. Pro KJ se nejčastěji používá pístový spalovací motor, který má dobré vlastnosti z hlediska pohotovosti a účinnosti. Je nutná jeho pravidelná údržba a provádění plánovaných oprav dle pokynů výrobce, které nám zaručí životnost KJ až 100 tis. mth. Pro návrh jsou důležité parametry KJ jako účinnost, elektrický a tepelný výkon a spotřeba paliva. Vlastním návrhem KJ se bude zabývat praktická část.

## 5 PRAKTICKÁ ČÁST

ČOV se nachází na východní části města Žďár nad Sázavou. Žďár je okresní město ležící na severozápadě Kraje Vysočina. Ke dni 1. 1. 2016 zde žilo 21 478 obyvatel. Město se dále dělí na 5 městských částí: Žďár nad Sázavou 1-7, Mělkovice, Radotín, Stržanov a Veselíčko a rozkládá se na ploše přibližně 3 700 ha. Výškově se nachází v nadmořské výšce mezi 540 až 600 m n. m. Středem protéká vodní tok Sázava a dále Stavišťský potok a Stržský potok. Řeka Sázava je mimo jiné oblíbeným cílem vodáků a na severní části města ji přehrazuje vodní nádrž Pilská. [52]

Vlastníkem ČOV je Svaz vodovodů a kanalizací Žďársko a provozovatel Vodárenská akciová společnost, a.s. Provozovatel vlastní celkem šest divizí a ČOV patří pod divizi Žďár nad Sázavou, která je svou rozlohou největší. Tato divize vyrábí a dodává pitnou vodu a odvádí a čistí OV včetně likvidace kalů. Celkem provozuje devatenáct ČOV a pět úpraven vod na Žďársku. [51]



Obr. 13 Letecký snímek ČOV Žďár nad Sázavou [zdroj: [www.google.cz/maps](http://www.google.cz/maps)]

### 5.1 ČOV ŽĎÁR NAD SÁZAVOU

OV jsou dopravovány na čistírnu gravitačně i tlakově z kombinované stokové sítě, která je klasická větevná. OV přitékají z městských částí Žďáru nad Sázavou a okolních obcí: Hamry nad Sázavou (část), Polnička, Stržanov, výhledově se předpokládá také napojení obcí: Vysoké, Mělkovice, Radotín, Veselíčko, Hamry nad Sázavou (část), Počítky, Najdek a Šlakhamry. Kanalizační síť je postupně obnovována a rekonstruována, byla vystavěna mezi lety 1941–2011. V některých částech je již stav nevyhovující a počítá se s rekonstrukcí a s vystavěním nových úseků a připojením dalších obyvatel. Pro stavbu jsou použity klasické stokové materiály jako: beton, železobeton, kamenina a PVC. Množství balastních vod je 59,4 % z celkového průtoku sítí, je vyšší, ale odpovídá stávajícímu stavu a stáří sítě. [52]



Čistírna je projektována pro 34 500 EO, ale již v současnosti funguje na hranici svého maximálního výkonu a dále se počítá s připojením dalších obyvatel, proto je nezbytná její budoucí intenzifikace, která je navrhována i v Plánu rozvoje a kanalizací Kraje Vysočina. Počet připojených obyvatel dle projektové dokumentace z roku 2005 je 27 000 EO obyvatel a 7 500 EO průmysl. Charakteristické průtoky na ČOV viz Tab. 5.1: [52] [44]

**Tab. 5.1 Charakteristické průtoky na ČOV [44]**

Průtok	$Q_{24p}$	$Q_{24m}$	$Q_{min}$	$Q_v$	$Q_{bio}$	$Q_{hč}$	$Q_{déšť}$
m <sup>3</sup> /hod	334,7	402,1	199,8	503,3	720	1134	6829,2
m <sup>3</sup> /den	8032,8	9650,4	4795,2	12079,2	17280	27216	-

kde	$Q_{24p}$	průměrný denní průtok splaškových OV
	$Q_{24m}$	maximální denní průtok splaškových OV
	$Q_{min}$	minimální denní průtok splaškových OV
	$Q_v$	výpočtový průtok splaškových OV
	$Q_{bio}$	maximální průtok biologickým stupněm
	$Q_{hč}$	maximální průtok na mechanický stupeň a dosazovací nádrž
	$Q_{déšť}$	maximální průtok za deště ze stokové sítě před odlehčením

Charakteristické zatížení dle projektové dokumentace viz Tab. 5.2:

**Tab. 5.2 Zatížení ČOV dle projektové dokumentace [44]**

Parametr	výhled	jednotka		výhled	jednotka
Počet EO	34 500				
BSK <sub>5</sub>	2 070,00	kg/d	=	257,70	mg/l
CHSK	3 912,30	kg/d	=	487,10	mg/l
NL	1 696,70	kg/d	=	211,20	mg/l
N-kj	414,00	kg/d	=	51,50	mg/l
P	86,30	kg/d	=	10,70	mg/l

Kde	BSK <sub>5</sub>	biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní
	CHSK	chemická spotřeba kyslíku
	NL	nerozpuštěné látky
	N-kj	Khjedalův dusík (amoniakální + organický)
	P	fosfor

Povolené hodnoty k nakládání s vodami a na odtoku z ČOV do toku Sázava se řídí rozhodnutím KRAJSKÉHO ÚŘADU KRAJE VYSOČINA, odboru lesního a vodního hospodářství a zemědělství, č.j. KUJI13087/2005 OLVHZ ze dne 8. 9. 2005. Vypouštění množství viz Tab. 5.3: [44]



**Tab. 5.3 Povolené průtoky vypouštěných vod do recipientu [44]**

Průtok	Hodnota	Jednotka	Poznámka
$Q_{\text{prům}}$	127	l/s	
$Q_{\text{max}}$	200	l/s	čištěno biologicky
$Q_{\text{max}}$	115	l/s	čištěno mechanicky

Povolená kvalita vypouštěných vod na odtoku z ČOV:

**Tab. 5.4 Kvalita vod na odtoku z ČOV [44]**

Ukazatel	Roční průměr mg/l	Přípustné hodnoty "p"	Maximální hodnoty	Roční bilance
	mg/l	mg/l	mg/l	t/rok
<b>BSK<sub>5</sub></b>	-	20	36	60
<b>CHSK</b>	-	90	130	300
<b>NL</b>	-	20	40	72
<b>N<sub>celk</sub></b>	15	-	20 pozn.	60
<b>P<sub>celk</sub></b>	1,5	-	4	6

Pozn: Platnost citovaného rozhodnutí k vypouštění odpadních vod je stanovena na dobu určitou a to do 31. 12. 2018.

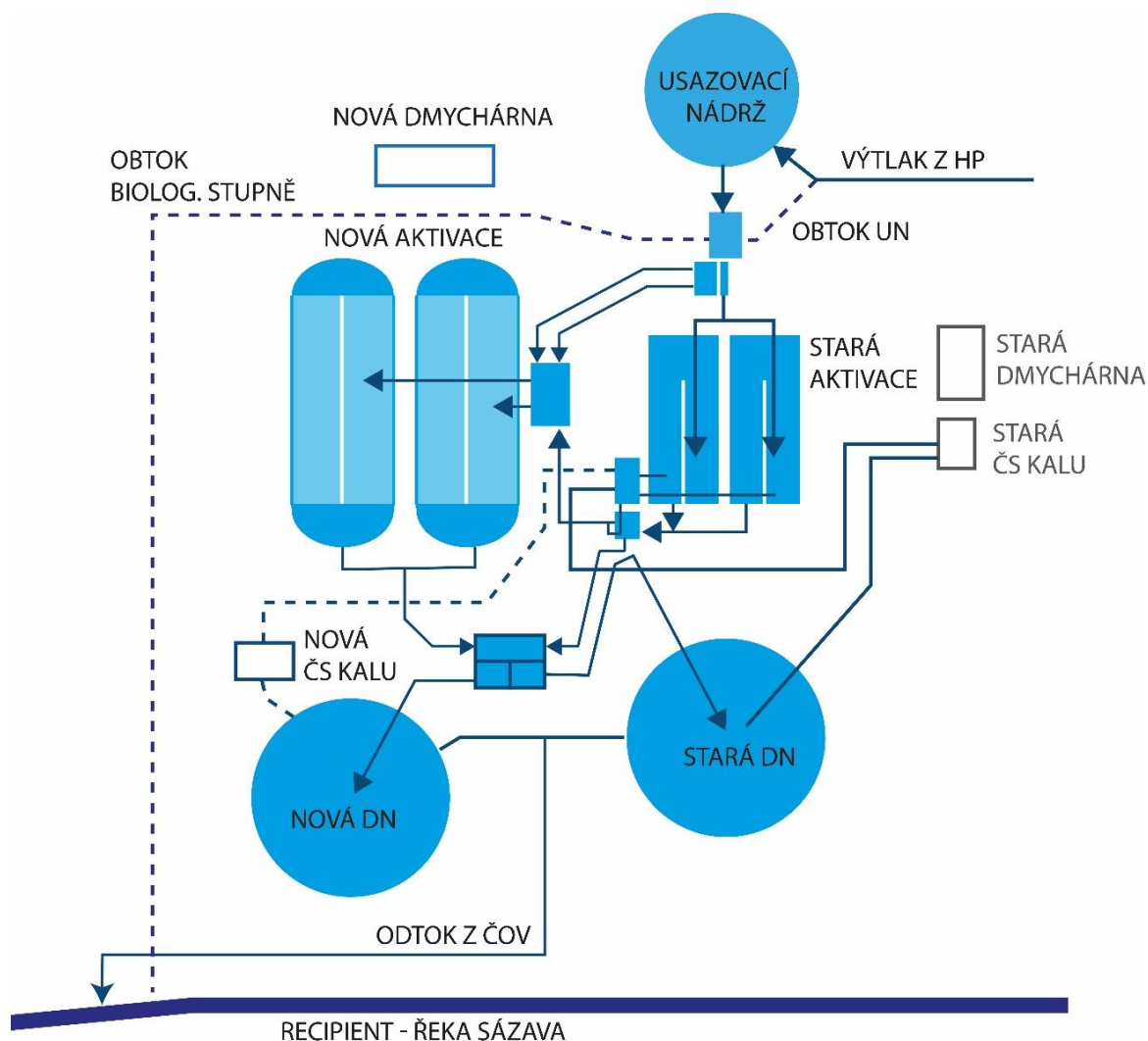
Údaje o recipientu řeky Sázava viz Tab. 5.5:

**Tab. 5.5 Enviromentální kapacita řeky Sázavy [44]**

Ukazatel	Hodnota	Jednotka
<b>Q<sub>355</sub></b>	155	l/s
<b>BSK<sub>5</sub></b>	6,5	mg/l
<b>CHSK<sub>Cr</sub></b>	34	mg/l
<b>NL</b>	16	mg/l
<b>N<sub>NH4</sub></b>	1,6	mg/l
<b>N<sub>NO3</sub></b>	3,6	mg/l
<b>P<sub>celk</sub></b>	0,5	mg/l

kde  $Q_{355}$  průtok v recipientu dosažený nebo překročený průměrně 355 dní v roce  
 $BSK_5$  biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní  
 $CHSK_{Cr}$  chemická spotřeba kyslíku  
 $NL$  nerozpuštěné látky  
 $N_{NH4}$  amoniakální dusík  
 $N_{NO3}$  dusičnanový dusík  
 $P_{celk}$  celkový fosfor

Na čištění OV se používají klasické mechanicko-biologické procesy.



Obr. 14 Technologické schéma ČOV Žďár nad Sázavou [44]

V současnosti se na ČOV Žďár nad Sázavou nachází KJ STRATOS MGM 70 od společnosti Motorgas. KJ je umístěna uvnitř v kotelně a je využívána na spalování bioplynu vznikajícího při anaerobní stabilizaci kalu. K jednotce je zaveden i přívod zemního plynu, který slouží pouze jako záložní zdroj, ale není využíván. Vyrobená tepelná energie je použita na ohřívání kalu ve vyhnívacích nádržích a elektrická energie se spotřebovává na provoz technologických zařízení ČOV: míchadla, čerpadla, dmychadla apod. Celková spotřeba elektrické energie celé čistírny je vyšší, není tedy soběstačná a využívá i elektřinu ze sítě. Balance elektrické energie za rok 2011 až 2013 viz Tab. 5.6: [44]

Tab. 5.6 Balance spotřeby energie na ČOV Žďár nad Sázavou [44]

Rok		2011	2012	2013	průměr
Výroba el. energie KJ	kWh/rok	331,74	306,56	320,58	319,6267
Spotřeba energie ze sítě	kWh/rok	828,3	839,23	793,92	820,4833
Celková spotřeba ČOV	kWh/rok	1153,06	1146,08	1116,86	1138,667



Obr. 15 Stávající KJ na ČOV Žďár nad Sázavou [Zdroj: Ing. Petr Hlušík, Ph.D.]

## 5.2 VSTUPNÍ PARAMETRY PRO NÁVRH KJ

Optimalizace a provoz KJ je náročný z hlediska definování vstupních podmínek, které umožní provést následný výpočet. Mezi vstupními parametry pro návrh KJ vystupuje produkce bioplynu za hodinu a jeho výhřevnost. Ze vstupních parametrů se následně vypočítá příkon v palivu a podle toho se zvolí vhodná KJ.

### 5.2.1 Produkce bioplynu

Objem bioplynu vznikající anaerobní stabilizací kalu se mění v čase a jeho produkce  $P_{\text{bioplyn}}$  [ $\text{m}^3/\text{hod}$ ] je závislá na více parametrech.

První možnost výpočtu produkce je výpočet dle vzorce 5.1: [7]

$$P_{\text{bioplyn}} = S_{\text{celk}} \times OS \times D \times P_{\text{sušina}}, \quad (5.1)$$

kde  $S_{\text{celk}}$  ... celkový objem kalu [ $\text{kg}/\text{hod}$ ]

$OS$  ... obsah organické sušiny [-]

$D$  ... degradace organické sušiny [-]

$P_{\text{sušina}}$  ... specifická produkce bioplynu na  $\text{kg}$  odbourané sušiny [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]

Specifická produkce bioplynu na  $\text{kg}$  odbourané sušiny  $P_{\text{sušina}}$  se pohybuje v rozmezí od 0,4 do 0,6  $\text{m}^3/\text{kg}$  viz Tab. 5.7. Produkce se určí podle teploty vyhnívání, která ovlivní aktivitu bakterií účastnících se procesu methanizace: [7]

**Tab. 5.7 Produkce bioplynu v závislosti na teplotě. [7]**

Teplota °C	10	15	20	25	30
Produkce m <sup>3</sup> /kg	0,45	0,53	0,61	0,71	0,76

Druhou možností je laboratorní zkouška dle ČSN EN ISO 11734 - Jakost vod - Hodnocení úplné anaerobní biologické rozložitelnosti organických látek kalem z anaerobní stabilizace – Metoda stanovení produkce bioplynu. ČSN specifikuje screeningovou metodu pro hodnocení biologické rozložitelnosti organických látek při dané koncentraci anaerobními organismy. [12]

Třetí možností je vlastní měření produkce plynu. Naměřené hodnoty byly získány za roky 2014 a 2015 viz Tab 5.8 a použijeme je jako vstupní data.

**Tab. 5.8 Naměřené hodnoty produkce bioplynu ČOV Žďár nad Sázavou [44]**

Produkce bioplynu [m <sup>3</sup> /hod]		
měsíc	2014	2015
leden	27,36	22,31
únor	21,84	25,42
březen	21,10	30,54
duben	26,03	26,33
květen	29,23	29,93
červen	30,92	30,40
červenec	25,36	17,89
srpen	22,13	20,68
září	24,50	26,78
říjen	28,57	26,69
listopad	28,81	29,39
prosinec	26,10	28,83
průměr	26,13	

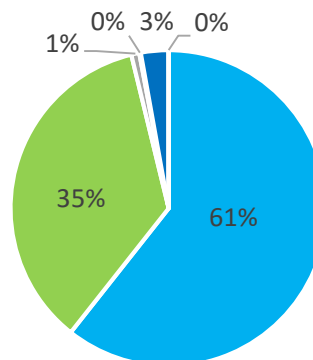
### 5.2.2 Složení bioplynu

Složení bioplynu je důležitý parametr, ze kterého se zjistí obsah CH<sub>4</sub> a z něj výhřevnost. Plyn z ČOV obsahuje 60,7 % CH<sub>4</sub> viz Obr. 16. Zbylé složky bioplynu jsou maximálně v jednotkách procent, ale ve větších koncentracích jsou závadné a je nutné bioplyn čistit. V našem případě bioplyn obsahuje 22,9 mg/m<sup>3</sup> sirovodíku neboli sulfanu, hodnoty jsou v přípustném obsahu a není nutné bioplyn odsiřovat.

Provést rozbor celkového složení plynu je složité a provádí se ve specializovaných laboratořích. Na dané čistírně se pravidelně měří pouze CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> jednoduššími metodami. Obsah methanu lze poté snadno dopočítat po odečtení naměřených hodnot CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> a odečtení zbylých složek z rozboru plynu. Výsledný průběh produkce methanu je 61,2–67 %.

## Rozbor plynu z roku 2015

■ CH<sub>4</sub> - 60,7 %  
■ CO<sub>2</sub> - 35,6 %  
■ O<sub>2</sub> - 0,82 %  
■ H - 0,155 %  
■ N - 2,83 %  
■ CO<sub>3</sub> - 0,002 %



Obr. 16 Rozbor plynu na ČOV Žďár nad Sázavou [44]

### 5.2.1 Spalné teplo a výhřevnost bioplynu

Spalné teplo  $Q_s$  je měřená hodnota slučovacího tepla získaná dokonalým spalováním paliva, přičemž spaliny jsou ochlazené na výchozí teplotu a voda ze spaliny je v kapalném stavu. Naopak výhřevnost  $Q_i$  je množství tepla získané z dokonalého spalování paliv, přičemž voda ve spalínách odchází jako vodní pára vzniklá odpařením vody z paliva. [26]

Hodnota výhřevnosti bioplynu z této ČOV se rovná hodnotě spalného tepla, protože neobsahuje žádnou vodu. Výhřevnost vypočteme ze součtu výhřevností jednotlivých plynů, ze kterých je bioplyn složen. V našem případě je směrodatný obsah CH<sub>4</sub> – 60,7%. Vodík je také výhřevný, ale bioplyn ho obsahuje pouze 0,16 %, proto je ve výpočtu zanedbán. Výhřevnost vypočteme podle vzorce 5.2: [26]

$$Q_i^{PLP} = V_1 \times Q_{i,1}^{PLP} + V_2 \times Q_{i,2}^{PLP} + \dots + V_n \times Q_{i,n}^{PLP}, \quad (5.2)$$

kde  $V_1$ - $V_n$  ... objem jednotlivých plynných složek v 1 m<sup>3</sup> paliva [-]

$Q_i^{PLP}$  ... výhřevnost jednotlivých plynných složek [ MJ/m<sup>3</sup> ] nebo [kW/m<sup>3</sup>]

Pro výpočet byla použita hodnota obsahu methanu v bioplynu 60,7 % naměřená při laboratorní zkoušce. Výsledná výhřevnost bioplynu je 35,88 MJ/m<sup>3</sup> neboli 9,97 kW/m<sup>3</sup> viz Tab. 5.9.

Tab. 5.9 Výhřevnost bioplynu z ČOV Žďár nad Sázavou

Výhřevnost bioplynu $Q_i^{PLP}$		
V1	60,7	%
$Q_{i,1}^{PLP}$ – čistý methan	35,88	MJ/m <sup>3</sup>
$Q_i^{PLP}$ – bioplyn	21,78	MJ/m <sup>3</sup>
$Q_{i,1}^{PLP}$ – čistý methan	9,97	kW/m <sup>3</sup>
$Q_i^{PLP}$ – bioplyn	6,05	kW/m <sup>3</sup>

kde  $V_1$  ... obsah methanu [%]

$Q_{i,1}^{PLP}$  ... výhřevnost methanu [MJ/m<sup>3</sup>, kW/m<sup>3</sup>]

$Q_i^{PLP}$  ... výhřevnost bioplynu [MJ/m<sup>3</sup>, kW/m<sup>3</sup>]

## 5.2.2 Příkon v palivu

Z produkce a výhřevnosti bioplynu byl spočítán příkon v palivu podle vzorce 5.3.

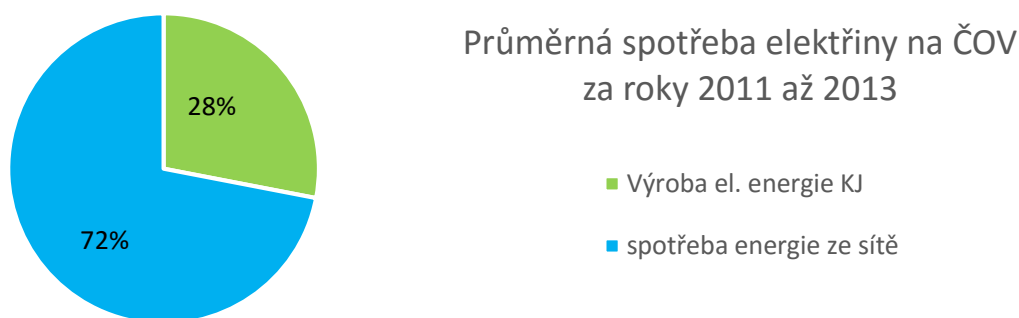
$$P = Q_i^{PLP} \times P_{bioplyn}, \quad (5.3)$$

Tab. 5.10 Vypočítané hodnoty příkonu v palivu

Příkon v palivu P [kW]		
měsíc	2014	2015
leden	165,47	134,96
únor	132,08	153,76
březen	127,62	184,70
duben	157,46	159,26
květen	176,84	181,05
červen	187,04	183,87
červenec	153,37	108,22
srpen	133,87	125,09
září	148,21	161,98
říjen	172,80	161,47
listopad	174,24	177,74
prosinec	157,90	174,36
průměr	158,06	

## 5.3 POSOUZENÍ

Podnět pro vypracování návrhu a posouzení KJ přišel ze strany provozovatele ČOV Žďár nad Sázavou. Prvním důvodem bylo zvýšení produkce elektrické energie, aby byla ČOV energeticky soběstačnější. Posouzením spotřeby z obrázku č. 17 lze říct, že elektrická energie z KJ v současnosti pokryje pouze asi třetinu celkové spotřeby ČOV. Pokud by se stávající KJ nahradila účinnější, investice by se vrátila díky snížení nákladů na nákup elektřiny ze sítě.



Obr. 17 Průměrná spotřeba elektrické energie na ČOV Žďár nad Sázavou [44]

Současně druhým důvodem byla plánovaná generální oprava a posouzení, zda by byla výhodnější instalace výkonnější jednotky. KJ je v provozu přibližně 8 let a vyžaduje generální opravu, která se provádí cca po 50 000 mth. Celková životnost i s generální opravou je

udávaná 100 000 mth dle výrobce. Její elektrická účinnost je 33,3 %, elektrický výkon je 60 kW a spotřeba paliva 180 kW, další parametry viz Tab. 5.11.

Tab. 5.11 Parametry stávající KJ [35]

Typ KJ	MGM 70
Motor	MAN E0836 E302
Emise Nox	--- mg/m <sup>3</sup> @ 5% O <sup>2</sup>
Emise CO	--- mg/m <sup>3</sup> @ 5% O <sup>2</sup>
Elektrický výkon	60,0 kW <sub>E</sub>
Tepelný výkon	86,2 kW <sub>T</sub>
Spotřeba paliva	180 kW
Účinnost elektrická	33,30 %
Účinnost tepelná	47,90 %
Účinnost tepelná	81,20 %

## 5.4 NÁVRH ŘEŠENÍ

Řešení zohledňuje současný stav KJ a příkon v palivu bioplynu. Příkon v palivu se průměrně pohybuje od 108,22 kWh do 187,04 kWh. Příkon vychází ze dvou směrodatných veličin. První je produkce bioplynu, ta byla přímo naměřena za roky 2014 a 2015 a hodnoty jsou 17,89–30,92 m<sup>3</sup>/hod, viz Tab. 5.8. Druhá je výhřevnost vypočtená z obsahu methanu (60,7 %) 21,78 MJ/m<sup>3</sup> tedy 6,05 kW/m<sup>3</sup>, viz Tab. 5.9.

Byly navrženy tři varianty, které lze uplatnit jako řešení:

- varianta 1: návrh nové výkonnější KJ od výrobce TEDOM,
- varianta 2: generální oprava KJ provedená výrobcem TEDOM,
- varianta 3: výměna motoru KJ od výrobce MOTORGAS.

Z hlediska ekonomie instalace a provozu KJ je nutné posoudit výhodnost, proto je spočítána návratnost u každé varianty. Výpočet je proveden orientačně a byly zanedbány vlivy inflace, růst ceny, růst vodného a stočného, odpisy atd. [26]

Náklady lze popsat mnoha způsoby. Jednodušeji je lze rozčlenit na náklady viz Obr. 18. [26]

Investiční náklady	Provozní náklady
<ul style="list-style-type: none"> <li>• pořízovací;</li> <li>• instalace a doprava;</li> <li>• projektové;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mzdové;</li> <li>• opravy a servis;</li> <li>• materiál;</li> <li>• ostatní;</li> </ul>

Obr. 18 Rozčlenění nákladů investičních a provozních [26]



Výpočet bude zjednodušen a některé složky nákladů budou zanedbány, kvůli nemožnosti výpočtu či odhadu. Zahrnuté náklady:

- instalace KJ – náklady na pořízení a instalaci;
- provoz KJ – náklady na opravy a servis;

Investiční náklady zahrnují **náklady na pořízení jednotky**, tato částka byla přímo zjištěna od výrobců. Dále **náklady na instalaci**, pro které je nutná prováděcí studie nebo projekt a proto bude hodnota jen odhadnuta. Dle doporučení výrobce lze hodnotu odhadnout jako 10 % z ceny KJ za předpokladu, že bude stejný tlak plynu, průřezy kabelů, odvod spalin, teplotní spád výstupní vody, požadavky na vzduchotechniku apod.

Provozní náklady zahrnují **náklad na opravy a servis**, bude uvažována jednotná cena pro všechny návrhy 35,72 Kč/mth, kterou v opačném případě udává výrobce. Náklad pokrývá plánované práce včetně generální opravy, návratnost tedy musí být menší než 100 000 hodin. Náklad na opravy a servis bez generální opravy stojí 1,90 Kč/mth a bude s ním počítáno při výpočtu návratnosti varianty 2 – generální opravy. [50]

Pro výpočet úspory při provozu KJ známe nákupní cenu elektřiny 1,9 Kč/kW, kterou ČOV zaplatí při nákupu ze sítě. Dále hodnota zeleného bonusu 1,6 Kč/kW, kterým podporuje stát obnovitelné zdroje elektřiny. Podmínkou zeleného bonusu je instalace provozu do 31.12.2013 včetně. [44]

#### 5.4.1 Varianta 1: návrh nové výkonnější KJ, TEDOM

Variantou 1 je návrh nové KJ. Jako dodavatel byl zvolen český výrobce TEDOM se sídlem v Praze, který nabízí KJ různých výkonů. Po konzultaci byla z nabídky vybrána KJ typu Cento T80 v nekapotovaném provedení. Kapotovaná verze se doporučuje v případě, že jsou vyšší nároky na hlučnost KJ, nebo by KJ měla být v prašném prostředí.

KJ **Cento T80** potřebuje při 100% výkonu příkon v palivu 237 kW. Maximální příkon v palivu 187,04 kW, který můžeme dodat, je menší než požadovaný výkon a proto jednotka bude v provozu průměrně 16 hodin denně. Na druhou stranu má vyšší elektrický výkon 83 kW<sub>E</sub> a účinnost 35 %. Další základní technické parametry viz Tab. 5.12. [50]

Tab. 5.12 Základní technické údaje KJ Cento T80 [50]

Zatížení	50	75	100	%
Tepelný výkon	87	104	121	kW
Elektrický výkon	41	62	83	kW
Příkon v palivu	149	194	237	kW
Účinnost elektrická	27,8	32,1	35	%
Účinnost tepelná	58,2	53,8	50,9	%
Účinnost celková (využití paliva)	86	85,8	85,9	%
Spotřeba plynu	22,9	29,8	36,5	Nm <sup>3</sup> /h



Ekonomické zhodnocení návratnosti:

Tab. 5.13 Ekonomické zhodnocení varianty 1

Investiční náklady			Úspora provozu		
KJ T80	2 140 000	Kč	Úspora elektrické energie	923 265	Kč/rok
Instalace	214 000	Kč			
Provoz KJ	389 871	Kč/mth			
Suma	3 043 871	Kč	Suma	923 265	Kč/rok

Návratnost byla vypočítána na **3,3 let**, při stavu 19 313 mth. Investice je výhodná, protože je nižší než udávaná životnost 100 000 mth.

## 5.4.2 Varianta 2: generální oprava KJ, TEDOM

Další variantou je provedení plánované generální opravy (GO) KJ **MGM 70** a motoru **MAN E0836 E302** provedená firmou TEDOM. Díky tomu se prodlouží životnost KJ o dalších 50 000 mth. Z hlediska ekonomiky je to výhodná varianta, protože bude možné dále přijímat zelený bonus. Na druhou stranu zůstává stávající elektrický výkon 60 kW<sub>E</sub> a účinnost 33,3 % viz Tab. 5.14.

Tab. 5.14 Základní technické parametry MGM 70, motor MAN E0836 E302 [35]

Typ KJ	MGM 70
Motor	MAN E0836 E302
Elektrický výkon	60,0 kW <sub>E</sub>
Tepelný výkon	86,2 kW <sub>T</sub>
Spotřeba paliva	180 kW
Účinnost elektrická	33,30 %
Účinnost tepelná	47,90 %
Účinnost tepelná	81,20 %

Ekonomické zhodnocení návratnosti: (Náklad na opravy a servis GO 1,90 Kč/mth)

Tab. 5.15 Ekonomické zhodnocení varianty 2

Investiční náklady			Úspora provozu		
GO motoru	306 300	Kč	Úspora elektřiny	870 507	Kč/rok
GO kogenerační jednotky	729 900	Kč	Zelený bonus	733 058	Kč/rok
Provoz KJ	90 119	Kč/mth			
Suma	1 126 319	Kč	Suma	1 603 565	Kč

Návratnost byla vypočítána na **7 měsíců**, při stavu 4 115 mth. Investice je výhodná, protože je menší než udávaná životnost 50 000 mth.

### 5.4.3 Varianta 3: výměna motoru KJ, MOTORGAS

Poslední alternativou, jak naložit s dosluhující KJ MGM 70, je výměna motoru za **MAN E0834 LE302** včetně nezbytného příslušenství. Pro výměnu motoru byl vybrán výrobce současné KJ firma Motorgas. Výměnou motoru se prodlouží životnost KJ na 100 000 mth. Opět zůstává splněna zákonná podmínka instalace provozu do 31.12.2013 včetně, protože se jedná o opravu a bude možné dále pobírat zelený bonus.

Tab. 5.16 Základní technické údaje MGM 70, motor MAN E0834 LE302 [35]

Typ KJ	MGM 70
Motor	MAN E0834 LE302
Elektrický výkon	63,7 kW <sub>E</sub>
Tepelný výkon	91,1 kW <sub>T</sub>
Spotřeba paliva	180 kW
Účinnost elektrická	35,60%
Účinnost tepelná	50,90%
Účinnost celková	86,50%

Ekonomické zhodnocení návratnosti:

Tab. 5.17 Ekonomické zhodnocení varianty 3

Investiční náklady			Úspora provozu		
MGM 70 včetně instalace – výměna motoru	1 150 000	Kč	Úspora el. energie	939 092	Kč/rok
Provoz KJ	217 851	Kč/mth	Zelený bonus	790 814	Kč/rok
Suma	1 367 851	Kč	Suma	1 729 906	Kč/rok

Návratnost byla vypočítána na necelých **8 měsících**, při stavu 6 099 mth. Investice je výhodná, protože je nižší než udávaná životnost 100 000 mth.

## 5.5 DOPORUČENÁ VARIANTA

Ze všech tří navrhovaných variant je doporučena varianta 3 navrhuující výměnu motoru za MAN E0834 LE302. Důvody ke zvolení jsou:

- výhodnost investice,
- krátká doba návratnosti 8 měsíců;
- využití zeleného bonusu na elektřinu,
- nízké investiční náklady,
- splnění požadavků ČOV,
- zvýšení účinnosti.

## 6 ZÁVĚR

Cílem práce bylo zpracování rešerše zabývající se platnou legislativou, bioplynem vznikajícím na ČOV při anaerobní stabilizaci kalu, kogenerací a v praktické části vypracování studie využití kogenerační jednotky na ČOV Žďár nad Sázavou. Rešeršní část se dělí na tři kapitoly Kalové hospodářství, Bioplyn a Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie.

V první kapitole se práce zabývá českou a evropskou legislativou a normami všeobecně o čištění OV a z oblastí nakládání s kaly a kombinované výroby elektrické a tepelné energie. Dle Zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech, ve znění pozdějších předpisů, je s kaly z ČOV nakládáno jako s odpady, ovšem představují využitelný energetický potenciál a díky spalování v kogeneračních jednotkách pomocí nich lze vyrobit elektrickou a tepelnou energii. Konečné využití kalů v zemědělství je podmíněno dodržením podmínek dle Zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů.

Následuje kapitola popisující produkci, intenzifikaci produkce a využití bioplynu na ČOV, který slouží jako hlavní zdroj paliva pro KJ. Principem produkce je biologický rozklad organicky rozložitelných látek obsažených v odpadních vodách, nebo v kalu za anaerobních podmínek. Hodnotu produkce plynu lze navýšit pomocí metod předúpravy kalů, které prohlubují rozklad látek a tím se docílí větší efektivity a intenzifikace. Zajímavou metodou je zařízení Ecrusor, jedná se o zařízení separující organický odpad, který je po úpravě přidáván do vyhnívacích nádrží. Využití získaný bioplyn lze více způsoby: od přímého spalování po palivo do kogeneračních jednotek.

Princip KJ je detailněji popsán v další kapitole věnující se kogeneraci. Jsou zde popsány jednotlivá zařízení tvořící KJ a rozdělení KJ dle různých kritérií. Parametry a veličiny popisující KJ jsou např. účinnost elektrická a tepelná nebo výkon. Kapitola se podrobněji zaměřuje na spalovací motory, které jsou nejčastěji používány do KJ. Jedná se o pístové motory, které se dále dělí podle toho, jakým způsobem dojde k zapálení paliva, tedy vznětové, nebo zážehové. Výhodou je jejich pohotovost, protože rychle naběhnou do plného výkonu. Používají se i do automobilů nebo lodí a pro spalování bioplynu musí být speciálně upravené. Následuje stručný výčet a představení vybraných výrobců z České republiky a Evropy, kteří vyrábí a dodávají KJ pro průmyslové a komerční použití.

Praktická část nejprve charakterizuje vlastní ČOV Žďár nad Sázavou, pro kterou je studie návrhu KJ vypracována. Bioplyn je získáván z anaerobní stabilizace kalu ve vyhnívacích nádržích a podle něj se stanovily tři vstupní parametry. První je produkce, pro kterou byly přesné hodnoty změřeny za rok 2014 a 2015 a z nich se počítá průměrná hodnota. Dále složení plynu, které se opět bere reálně stanovené z laboratorní zkoušky provedené v roce 2015. Podle složení bioplynu určíme, že není nutná předúprava plynu a je možné jej přímo využít v KJ. Následující parametr výhřevnost spočítáme z obsahu výhřevných složek v plynu, v daném případě je směrodatný obsah methanu 60,7 %. Z předchozích veličin vycházíme ve výpočtu příkonu v palivu, který je dodáván do KJ, pohybuje se od 108–187 kWh. V samotném návrhu

byl nejdříve posouzen stav KJ, který vyžaduje generální opravu, dále parametry bioplynu a požadavky ČOV na zvýšení produkce elektrické energie. Byly navrženy tři varianty řešení včetně orientačního výpočtu doby návratnosti investice zahrnující i provozní náklady. Návrhy variant řešení byly předloženy Vodárenské akciové společnosti, a.s. První varianta spočívá v návrhu nové KJ Cento T80 s elektrickým výkonem 83 kW<sub>E</sub> od výrobce Tedom. Druhou variantou je provedení plánované generální opravy motoru i samotné KJ firmou Tedom, která prodlouží životnost současné jednotky o dalších 50 tis. mth. A poslední varianta je výměna motoru za výkonnější od výrobce Motorgas. Ze všech tří návrhů byla doporučena třetí varianta navrhuje výměnu motoru za MAN E0834 LE302 ve stávající KJ MGM 70. Varianta byla zvolena díky výhodnosti celkové investice a krátké době návratnosti 8 měsíců, nízkým investičním nákladům, zvýšení účinnosti a zachování zeleného bonusu na vyrobenou energii.

Během zpracování bakalářské práce byla na ČOV Žďár nad Sázavou zvolena třetí varianta, tedy výměna motoru MAN E0834 LE302 v KJ MGM 70, z důvodu naplnění požadavků a současně zachování zeleného bonusu. Instalace nového motoru MAN proběhla v roce 2015.

## 7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Průručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, c2001. ISBN 8086020304.
- [2] ČESKO. Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2015. Dostupné také z: <http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=z&id=38506>
- [3] ČESKO. Zákon č. 254/2001 Sb. ze dne 28. června 2001 o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001. Dostupné také z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/download?idBiblio=51514&nr=254~2F2001~20Sb.&ft=pdf>
- [4] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky. In: . 2000. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32000L0060&from=CS>
- [5] SMĚRNICE RADY 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod. In: . 1991. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=CS>
- [6] TUREČEK, Karel. *Zákon o vodách č. 254/2001 Sb. s komentářem*. Praha: Soudy, 2002. ISBN 8090276687.
- [7] HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK. *Čištění odpadních vod: praktické příklady výpočtů*. Brno: Noel 2000, 1996, 196 s. : il. ISBN 8086020002.
- [8] PYTL, Vladimír. *Průručka provozovatele čistírny odpadních vod*. Praha: Medim pro SOVAK - Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR, 2004, x, 209 s. : il. ; 30 cm. ISBN 80-239-2528-8.
- [9] ČSN 75 6401. *Čistírny odpadních vod pro ekvivalentní počet obyvatel (EO) větší než 500*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [10] ČSN 75 6415. *Plynové hospodářství čistíren odpadních vod*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [11] ČSN 75 8080. *Charakterizace kalů - Nakládání s kaly ve vztahu k jejich využití nebo odstraňování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [12] ČSN EN ISO 11734 (757778). *Jakost vod - Hodnocení úplné anaerobní biologické rozložitelnosti organických látek kalem z anaerobní stabilizace - Metoda stanovení produkce bioplynu*. Praha: Český normalizační institut, 1999.

- [13] ČSN 65 6514. Motorová paliva - Bioplyn pro zážehové motory - Technické požadavky a metody zkoušení. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [14] MALÝ, Josef a Jitka MALÁ. *Chemie a technologie vody*. Brno: NOEL 2000, 1996. ISBN 8086020134.
- [15] PRAVEC, Michal. Evropské směrnice o vodách a my. *Vodní hospodářství* [online]. 2014, (3) [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2014/vh03-2014.pdf>
- [16] Ing. Milan Lánský, Ph.D. a Ing. Bc. Martin Srb, Ph.D. Použití nejlepších dostupných technologií při povolování vypouštění městských odpadních vod. In: LANSKÝ, Milan. *Použití nejlepších dostupných technologií při povolování vypouštění městských odpadních vod* [online]. 2012 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: [http://www.vystava-vodka.cz/prezentace/zakaznici/vystavavodka/dokumenty/pdf/f159\\_11-30-lansky.pdf](http://www.vystava-vodka.cz/prezentace/zakaznici/vystavavodka/dokumenty/pdf/f159_11-30-lansky.pdf)
- [17] SMĚRNICE RADY 75/442/EHS ze dne 15. července 1975 o odpadech. In: . 1975. Dostupné také z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:31975L0442&from=RO>
- [18] ČESKO. VYHLÁŠKA č. 477/2012 Sb. ze dne 20. prosince 2012 o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchovávání dokumentů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001.
- [19] ČESKO. ZÁKON ze dne 12. června 1998 o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1998.
- [20] ČESKO. ZÁKON č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1998.
- [21] ČESKO. ZÁKON č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000.
- [22] ČESKO. ZÁKON č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000.
- [23] SMĚRNICE RADY 86/278/EHS ze dne 12. června 1986 o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství. In: . 1986.
- [24] STRAKA, František a Michal DOHÁNYOS. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. Říčany: GAS, 2003. ISBN 8073280299.
- [25] SCHULZ, Heinz a Barbara EDER. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 8086167216.
- [26] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001187.

- [27] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. Praha: GAS, 2007. Informační systém GAS. ISBN 9788073281519.
- [28] HORBAJ, Peter a Eva SCHVARZBACHEROVÁ. *Využití bioplynu v kogenerácii*. Košice: Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2011. Edícia študijnej literatúry. ISBN 9788055305776.
- [29] ČESKO. VYHLÁŠKA č. 37/2016 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2016.
- [30] ČESKO. ZÁKON č. 310/2013 Sb., kterým se mění zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění zákona č. 407/2012 Sb., a další související zákony. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2013.
- [31] ŽÁKOVEC, Jan. *Biometan: hospodárné užití obnovitelných zdrojů energie*. Praha: GAS, c2012. GAS. ISBN 9788073282769.
- [32] PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVIČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN 8086534065. Dostupné také z: <http://kramerius.mzk.cz/search/handle/uuid:cd550b90-e809-11e4-9f58-005056827e52>
- [33] WELLINGER, Arthur, Jerry MURPHY a David BAXTER. *The biogas handbook: science, production and application*. Oxford: Woodhead Publishing, 2013. Woodhead Publishing series in energy. ISBN 9780857094988.
- [34] TEDOM. *Spalovací motory TEDOM* [online]. Jablonec nad Nisou [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>
- [35] MOTORGAS. *Kogenerační jednotky, kogenerace, trigenerace, plynové motory* [online]. 2011 [cit. 2016-04-27]. Dostupné z: <http://www.motorgas.cz/>
- [36] ČESKO. VYHLÁŠKA č. 377/2013 Sb. o skladování a způsobu používání hnojiv. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2013.
- [37] ČESKO. ZÁKON 4. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2012.
- [38] GT-Energy. *Mikrokogenerační jednotky* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.gt-energy.cz/>
- [39] *Kogenerace - mikrokogenerační jednotka - mikrokogenerace.cz - XRGI* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.mojekogenerace.cz/>
- [40] Viessmann. *Viessmann - topné systémy, průmyslové systémy, chladicí systémy* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/>
- [41] *Bosch KWK Systeme* [online]. [cit. 2016-05-07]. Dostupné z: <http://www.bosch-kwk.de/>

- [42] ČESKO. ZÁKON č. 185/2001 o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001.
- [43] *Karla Energize* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.karlaenergize.com/>
- [44] VAS,a.s. ČOV Žďár nad Sázavou.
- [45] *AgriKomp International* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.agrikomp.com/>
- [46] *Veolia Water Technologies* [online]. 2014 [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.veoliawatertechnologies.co.uk/>
- [47] *SCHNELL Motoren AG* [online]. [cit. 2016-05-09]. Dostupné z: <http://www.schnellmotoren.de/>
- [48] *Water2energy* [online]. [cit. 2016-05-14]. Dostupné z: <http://www.veoliawater2energy.com/>
- [49] ČESKO. VYHLÁŠKA o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie (vyhláška o technickoekonomických parametrech). In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2015, 196/2015.
- [50] DALIBOR NOVOTNÝ, obchodní manažer pro kogenerační jednotky, TEDOM a.s.
- [51] Vodárenská akciová společnost, a.s. [online]. 2009 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://www.vodarenska.cz/>
- [52] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Kraje Vysočina* [online]. [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: [http://prvk.kr-vysocina.cz/PDF/KARTY/B\\_15\\_729.pdf](http://prvk.kr-vysocina.cz/PDF/KARTY/B_15_729.pdf)
- [53] ČESKO. Vyhláška č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2001.
- [54] ČESKO. Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 2000.



## SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Emisní standardy: přípustná minimální účinnost čištění vypouštěných OV v procentech. [2].....	12
Tab. 2.2 Emisní standardy: přípustné hodnoty, maximální hodnoty a hodnoty průměru koncentrace ukazatelů znečištění vypouštěných OV v mg/l. [2].....	13
Tab. 2.3 Dosažitelné hodnoty koncentrací a účinností pro jednotlivé ukazatele znečištění při použití nejlepší dostupné technologie v oblasti zneškodňování městských odpadních vod. [2] .....	13
Tab. 2.4 Požadavky na vypouštění z čistíren městských OV. [5] .....	15
Tab. 2.5 Požadavky na vypouštění z ČOV v citlivých oblastech, které podléhají eutrofizaci. Podle místní situace se může použít jeden nebo oba ukazatele. Použijí se hodnoty koncentrací nebo procenta úbytku. [5].....	16
Tab. 3.1 Vliv mechanické desintegrace na produkci plynu [24].....	23
Tab. 3.2 Vliv desintegrace ultrazvukem na snížení obsahu organických látek v kalu při anaerobní stabilizaci [24].....	24
Tab. 4.1 Parametry primárních motorů využívaných pro KJ [26].....	30
Tab. 5.1 Charakteristické průtoky na ČOV [44] .....	39
Tab. 5.2 Zatížení ČOV dle projektové dokumentace [44] .....	39
Tab. 5.3 Povolené průtoky vypouštěných vod do recipientu [44].....	40
Tab. 5.4 Kvalita vod na odtoku z ČOV [44] .....	40
Tab. 5.5 Enviromentální kapacita řeky Sázavy [44] .....	40
Tab. 5.6 Balance spotřeby energie na ČOV Žďár nad Sázavou [44].....	41
Tab. 5.7 Produkce bioplynu v závislosti na teplotě. [7] .....	43
Tab. 5.8 Naměřené hodnoty produkce bioplynu ČOV Žďár nad Sázavou [44].....	43
Tab. 5.9 Výhřevnost bioplynu z ČOV Žďár nad Sázavou .....	44
Tab. 5.10 Vypočítané hodnoty příkonu v palivu .....	45
Tab. 5.11 Parametry stávající KJ [35] .....	46
Tab. 5.12 Základní technické údaje KJ Cento T80 [50].....	47
Tab. 5.13 Ekonomické zhodnocení varianty 1 .....	48
Tab. 5.14 Základní technické parametry MGM 70, motor MAN E0836 E302 [35].....	48
Tab. 5.15 Ekonomické zhodnocení varianty 2 .....	48
Tab. 5.16 Základní technické údaje MGM 70, motor MAN E0834 LE302 [35].....	49
Tab. 5.17 Ekonomické zhodnocení varianty 3 .....	49

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Hierarchie nakládání s odpady včetně kalů [11] .....	17
Obr. 2 Porovnání výhřevností bioplynu a ostatních energetických plynů (složení: 60 % methan, 38 % oxid uhličitý, 2 % stopové prvky) ve srovnání s jinými hořlavými plyny.[25] .....	19
Obr. 3 Fáze procesu vzniku bioplynu [25] .....	20
Obr. 4 Schéma procesu EXELYS [46] .....	25
Obr. 5 Schéma procesu BIOTHELYS [46] .....	25
Obr. 6 Výpis výrobků zpracovávaných v technologii ECRUSOR [48] .....	26
Obr. 7 Zařízení pro odsíření bioplynu na ČOV Otrokovice [zdroj: Lenka Hoferková] .....	27
Obr. 8 Schéma KJ [28] .....	28
Obr. 9 Odvod tepelné energie do okolí na ČOV Otrokovice [zdroj: Lenka Hoferková] .....	31
Obr. 10 Využití energie z paliva ve spalovacím motoru [26] .....	32
Obr. 11 Schéma KJ se spalovacím motorem [26] .....	33
Obr. 12 Kogenerační jednotka vnitřní (vlevo) a venkovní (vpravo) od výrobce Tedom [34] ..	35
Obr. 13 Letecký snímek ČOV Žďár nad Sázavou [zdroj: <a href="http://www.google.cz/maps">www.google.cz/maps</a> ] .....	38
Obr. 14 Technologické schéma ČOV Žďár nad Sázavou [44] .....	41
Obr. 15 Stávající KJ na ČOV Žďár nad Sázavou [Zdroj: Ing. Petr Hlušík, Ph.D.] .....	42
Obr. 16 Rozbor plynu na ČOV Žďár nad Sázavou [44] .....	44
Obr. 17 Průměrná spotřeba elektrické energie na ČOV Žďár nad Sázavou [44] .....	45
Obr. 18 Rozčlenění nákladů investičních a provozních [26] .....	46

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a.s. ... akciová společnost  
BSK ... biochemická spotřeba kyslíku  
BSK<sub>5</sub> ... biochemická spotřeba kyslíku po 5 dnech  
CO<sub>2</sub> ... oxid uhličitý  
ČOV ... Čistírny odpadních vod  
ČR ... Česká republika  
ČSN ... česká technická norma  
ČSN EN ... česká technická verze evropské normy  
EHS .. Evropské hospodářské společenství  
EN .. evropská norma  
EO ... Ekvivalentní obyvatel  
GO ... generální oprava  
CH<sub>4</sub> ... methan  
CHSK ... Chemická spotřeba kyslíku  
CHSK<sub>cr</sub> ... chemická spotřeba kyslíku stanovená dichromanem draselným  
KJ ... Kogenerační jednotky  
kW ... kiloWatt  
KS ... Kogenerační systém  
KVET ... Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie  
mth ... motohodina  
NL ... nerozpuštěné látky  
NV ... nařízení vlády  
OS ... Organická sušina  
OV ... Odpadní vody  
P<sub>celk</sub> ... celkový fosfor  
PE ... populační ekvivalent  
pH .. vodíkový exponent  
PTS ... potenciálně toxické látky  
s.r.o. ... společnost s ručením omezeným  
Sb. ... sbírka zákonů  
SM ... Spalovací motor  
Spol. .. společnost  
UV ... ultrafialové záření

## SEZNAM PŘÍLOH

1. Cenová nabídka od společnosti TEDOM
2. Technická specifikace Cento T80

## SUMMARY

The global problem is the energy management. We need to learn how to save energy and exploit renewable energy even more. One of the possible solutions is biogas produced during anaerobic sludge stabilization. This bachelor thesis deals with using biogas in cogeneration units at sewage water plant.

The first section covers the main Czech and EU legislation and regulations in the field of water treatment, sewage sludge treatment and cogeneration. The next section is devoted to production and utilization of biogas including methods for increasing amount of obtained biogas. The other section generally describes how cogeneration works. The thesis allocates cogeneration systems according to various aspects covering distribution by thermal and electrical power as well. The main parameters such as energy efficient and wattage are mentioned for the describing cogeneration units. Local and European companies are chosen from the fields of manufacturer.

The practical part deals with designing of cogeneration unit at sewage water plant Zdar nad Sazavou. Currently, a unit at the end of its use is installed there. This thesis describes the main facts about sewage water plant and unit. According to calculated and measured parameter adequate unit from local manufacturer Tedom is chosen. Moreover, there are other solutions for replacing the engine in the current unit or general repair. All options are evaluated from the view of profitable investment. The conclusion that It would be preferable to replace the engine.